DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Siebenter Jahrgang. 3. Oktober 1919. Heft 40.

Zu den Grundlagen der Röntgen- und Radiumtherapie.

Von Prof. Dr. Max Levy-Dorn, Berlin,
Leitender Arzt am Rudolf Virchow-Krankenhaus.

Der günstige Einfluß der Röntgenstrahlen[1]) auf zahlreiche krankhafte Zustände, insbesondere auch auf bösartige Geschwülste, ist allgemein anerkannt. Über das Zustandekommen der Wirkung herrscht noch nicht genügende Klarheit oder gehen die Ansichten der Autoren noch weit auseinander.

Die neue Forschung hat große Arbeit aufgewandt, um festzustellen, ob die harten (stark durchdringenden) Strahlen einen stärkeren oder überhaupt anderen Einfluß ausüben als die weichen (weniger durchdringenden) Strahlen. Es wäre möglich und wird sogar von vielen für wahrscheinlich gehalten, daß die Gewebe nur von den Strahlen, die in ihnen absorbiert werden, nicht von den durch sie hindurchgehenden verändert werden. Wenn — was keinem Zweifel unterliegt — harte Strahlen die tiefer liegenden Körperteile stärker beeinflussen als die weichen Strahlen, so erklärt sich diese Tatsache daraus, daß jene in größerer Menge in die Tiefe kommen als diese und dort trotz der *verhältnismäßig* geringen Absorption *absolut* mehr aufgesogen werden. Der Gewinn an absorbierten Strahlen hört natürlich bei einer gewissen Härte auf, d. h. die Durchlässigkeit der Gewebe kann so groß werden, daß trotz des größeren Reichtums an auftreffenden Strahlen nur weniger im Gewebe zurückbleiben als bei geringeren Härten. Das Optimum der Härte liegt nach *Christen* bei einer „Halbwertschicht" von $^7/_{10}$; d. h. die günstigste Wirkung wird erreicht, wenn die Härte der Strahlen so gewählt ist, daß die Strahlenmenge durch $^7/_{10}$ der Schichtdicke, welche durchdrungen werden muß, auf die Hälfte vermindert wird.

Die Hauptursache, weswegen obige Frage über die Wirkung verschieden harter Strahlen noch nicht einwandfrei entschieden ist, liegt daran, daß wir noch kein Mittel besitzen, die Quantitäten verschieden harter Strahlen auf dasselbe Maß zurückzuführen. Wir können daher auch nicht mit Sicherheit bestimmen, ob wir in einem gegebenen Fall gleiche Mengen harter und weicher Strahlen zur Resorption gebracht haben, wenn wir gleiche Wirkungen sehen. Doch lassen unsere heutigen Erfahrungen innerhalb gewisser Grenzen bereits ein brauchbares Urteil zu, so daß wir Aussicht haben, in absehbarer Zeit auch über jenen Punkt vollständig Klarheit zu gewinnen.

Die Methoden, mit denen die Energie der Röntgenstrahlen erschlossen werden soll, benutzen zwei grundsätzlich verschiedene Wege. Bei dem einen Verfahren werden alle Faktoren zusammengestellt und gemessen, die für die Erzeugung und Kraft der Strahlen von Wert sind: das sind der die Röntgenröhre erregende elektrische Strom, der Widerstand des Röhreninnern gegen denselben, die Dicke der Glaswand der Röhre, die von den Strahlen durchdrungen wird, gegebenenfalls auch das Material und die Dicke von Filtern, die zwischen Röhre und Objekt liegen, der Abstand des Röhrenfokus vom Objekt. Endlich muß der Röhrentyp berücksichtigt werden, das Material der Antikathode, auf welcher ja die Röntgenstrahlen entstehen, ihr Abstand von der Kathode usw.

Alle genannten Größen lassen sich zwar leicht bestimmen und messen, aber die Abhängigkeit der Ausbeute an Röntgenstrahlen von ihnen ist nicht genau genug bekannt, um ergänzende Dosierungsmethoden überflüssig erscheinen zu lassen. Im Gegensatz zu dem geschilderten sogenannten indirekten Weg, aus den *Ursachen* der Röntgenstrahlen auf ihre Menge und auch Qualität zu schließen, sucht man die *Wirkungen* der Strahlen für denselben Zweck zu verwerten (direkte Dosierungsmethode). Man benutzt heute noch in der Praxis am meisten die Eigenschaft des Baryum-Platin-cyanürs — derselben Masse, welche auch zum Belegen von Durchleuchtungsschirmen verwendet wird —, sich unter Einfluß der Strahlen gelbbraun zu verfärben, um aus dem Grade der Färbung einen Rückschluß auf die Stärke der sie hervorrufenden Strahlung zu machen. Sehr beliebt ist für den gleichen Zweck auch die Schwärzung des photographischen Papiers oder die Änderung des elektrischen Widerstandes des Selens durch die Strahlen. Bei allen genannten Testobjekten fällt aber der Grad der Reaktion für verschieden harte Strahlen ungleich aus, so daß sie also nur für gleiche Strahlenhärten ein Urteil zulassen. Die Schwierigkeit wird dadurch noch vermehrt, daß wir in Wahrheit keine einheitlichen Strahlen aus der Röntgenröhre erhalten, sondern inhomogene Strahlengemische.

Der Praktiker, also insbesondere der Röntgenarzt, wäre daher in eine üble Lage gekommen, wenn er es nicht verstanden hätte, sich auf Um-

[1]) Dasselbe gilt für die von den radioaktiven Substanzen ausgesandten γ-Strahlen, die ja im Wesen den Röntgenstrahlen gleichen.

wegen zu helfen, denn jeder Heilplan setzt die Möglichkeit einer Dosierung voraus. Der Arzt kann keine Erfahrung sammeln, wenn er nicht weiß, was und wieviel er dem Patienten gab, als er eine gute oder schlechte Wirkung beobachtete. Hierzu ist aber keine genaue Messung, wenigstens nicht in absoluten Maßeinheiten nötig, sondern nur die Fähigkeit geboten, daß man immer dieselben Verhältnisse wiederherzustellen in der Lage ist, unter denen man seine Beobachtungen angestellt hat. Dies ermöglicht die oben beschriebene indirekte Meßmethode, kontrolliert durch eine direkte in einem zwar nicht idealen, aber doch praktisch äußerst wertvollem Maße, besonders wenn man sich des sehr empfindlichen Selen-Intensimeters bedient.

Ein weiterer Fortschritt, von dem auch die endgültige Beantwortung einiger grundlegenden Fragen abhängt, kann aber nur erzielt werden, wenn die Dosierung verfeinert wird, und zwar nicht allein für Laboratoriumsversuche, sondern auch für die mit der Zeit geizende Praxis. Das Problem scheint mit Hilfe der „Luft-Iontometer" gelöst werden zu sollen. Die atmosphärische Luft wird nämlich wie durch gewisse Lichtstrahlen — so in noch höherem Maße — durch die Röntgenstrahlen leitend gemacht, oder mit anderen Worten ionisiert, was übrigens bereits von *Röntgen* entdeckt wurde. Nach der modernen Anschauung liegt dem Vorgang eine Abstoßung von Elektronen aus den nicht mehr einfach gedachten Atomen zugrunde. Durch das Wandern der Elektronen wird die Elektrizität fortgeleitet.

Die Iontometer bestehen aus einer abgeschlossenen Luftkammer und einem mit ihr verbundenen sehr empfindlichen Elektrometer. Die Luftkammer kann den verschiedensten Verhältnissen angepaßt werden, und hierin liegt nicht der kleinste Vorteil des Instrumentes. Ein Beispiel möge es zeigen: Wenn die Röntgenstrahlen einen Stoff treffen, so gehen sie zum Teil durch ihn hindurch und werden zum Teil absorbiert. Die absorbierten Strahlen werden aber in nicht unbeträchtlichen Mengen wieder in Strahlen verwandelt, die Sekundärstrahlen genannt werden. Man unterscheidet drei verschiedene Arten Sekundärstrahlen: 1. die Streustrahlen, die den primären Strahlen gleichen und nur diffus in alle Richtungen gehen; 2. die charakteristischen Strahlen, die für jede Substanz charakteristisch sind und nur von primären Strahlen erzeugt werden, die eine etwas größere Härte besitzen als diese; 3. β-Strahlen, also corpusculäre Strahlen, Elektronen. Die Sekundärstrahlen verursachen, daß sich — um einige Schwierigkeiten zu nennen — die Ergebnisse der Messungen mit der Größe der Ionisationskammer und mit dem Material ihrer Wanderungen ändern. Filter, d. h. Stoffe (in der Regel Metalle), die man zwischen Röhre und Objekt bringt, um die weichen Strahlen abzusieben, dürfen nicht nahe an die Ionisationskammer gebracht werden, weil dann die Sekundärstrahlen der Filter die Ionisation verstärken. In der Luft selbst werden aber verhältnismäßig wenig Sekundärstrahlen gebildet, und darauf beruht der wesentlichste Vorzug, den der Iontometer gegenüber den anderen Dosimetern besitzt. Die vielen Fehlerquellen, welche aber, wie angedeutet, bei seiner Anwendung auftreten können, haben bewirkt, daß sich bewährte Kräfte um seinen weiteren Ausbau bemühen. Einen hervorragenden Platz scheint das Iontoquantimeter von *Walter Friedrich* einzunehmen berufen, das er im dritten Sonderband der Strahlentherapie in einer gemeinsam mit *Bernhard Krönig* verfaßten bedeutsamen Monographie beschrieben hat: Physikalische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie (Urban & Schwarzenberg 1918). Mit Hilfe dieses Instrumentes waren die Verfasser in der Lage, wichtige Fragen einwandfreier als bisher möglich zu beantworten und sich an neue Probleme heranzuwagen.

Wir wollen die wichtigsten Ergebnisse mitteilen:

Da die Ionisation der Luft als das einwandfreieste Verfahren zur Bestimmung der Röntgendosis erkannt wurde, verzichteten die Verfasser mit Recht auf eine neue Bezeichnung für die Einheit der Dosis und führten das von *Kohlrausch* erdachte Maß ein, das mit dem kleinen deutschen „e" ausgedrückt wird. Hiernach ist die Einheit der Dosis diejenige Strahlenmenge, welche in 1 ccm Luft durch Ionisation eine Elektrizitätsmenge von einer elektrostatischen Einheit bei Sättigungsstrom transportiert, wobei unter elektrostatischer Einheit diejenige Elektrizitätsmenge verstanden wird, die einem Leiter von der Kapazität 1 auf die Einheit des Potentials (300 Volt) auflädt. Durch die Sekundärstrahlung der Gewebe des menschlichen Körpers wird die Tiefenwirkung der Röntgenstrahlen ganz wesentlich erhöht, die Tiefendose ist erheblich größer als die bisher übliche Rechnung, welche nur die Streustrahlen (Dispersion) berücksichtigte, ergibt. Die Sekundärstrahlung hat einen bedeutenden Einfluß auf die Verteilung der Dosis innerhalb und außerhalb des Bestrahlungsfeldes. Die Dosis ist im Zentrum desselben am größten und nimmt nach den Rändern zu allmählich ab.

Die Sekundärstrahlung im menschlichen Körper gleicht im wesentlichen derjenigen des Wassers. An den Stellen, wo sie nicht direkt gemessen werden kann, die Dicke der von den Röntgenstrahlen durchsetzten Schichten aber bekannt ist, kann sie daher unter einer entsprechend hohen Wassersäule erschlossen werden. Verfasser haben dafür ein geeignetes Wasserphantom angegeben. Die alten „Dosimeter", welche Baryum-Platincyanür und die photographische Schicht als Testobjekt verwenden, sind so unempfindlich, daß die groben Veränderungen, welche durch die Sekundärstrahlen bei verschieden harter Primärstrahlung hervorgerufen werden, durch sie nicht zum Ausdruck kommen. Das Selen-Intensimeter teilt

diesen Fehler nicht und ist daher, falls man nicht gerade verschieden harte Strahlen vergleichen will, gut brauchbar.

Trotz zahlreicher sehr gut und sorgfältig angelegter Versuche ließ sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den biologischen Wirkungen weicher und harter Strahlen nachweisen. Beobachtungen, welche auf den ersten Blick für einen stärkeren Einfluß der harten, besonders der γ-Strahlen sprachen, konnten auf Meßfehler bei der Dosierung (Sekundärstrahlung von den Wänden der Ionisationskammer) zurückgeführt werden. Es gilt also der Satz: Die Stärke der biologischen Wirkung ist nur abhängig von der absorbierten Strahlenenergie, unabhängig von der Strahlenqualität. Dagegen spielt hierfür die Intensität der Strahlung wie die zeitliche Verteilung der Dosis eine Rolle. Geringere Intensitäten und verzettelte Dosen verringern den Erfolg.

Die Möglichkeit, die Strahlen für Heilzwecke zu verwenden, beruht auf ihrer sogenannten elektiven Wirkung, d. h. auf der Eigenart, die verschiedenen Gewebe in verschieden hohen Dosen zu beeinflussen. Denn da die krankhaften Zustände, die beseitigt werden sollen, in der Regel tief im Körper liegen, müssen von den Strahlen, ehe sie dorthin gelangen, mehr oder weniger gesunde Gewebsschichten durchdrungen werden. Diese erhalten daher mehr Strahlen als die kranken Teile und würden geschädigt werden, wenn sie nicht eine geringere Empfindlichkeit besäßen. Mit Hilfe des Iontoquantimeters wurde die Empfindlichkeit für einige Gewebe genau bestimmt, sie betrug in Kohlrauschschen Einheiten „ε" gemessen, bei der menschlichen Haut ungefähr 170, bei dem Eierstock 33, bei Carcinom 150. Natürlich kommen Schwankungen vor; doch es würde zu weit führen, hier näher darauf einzugehen.

In der Medizin lassen sich viele Fragen nur auf experimentellem Wege an geeigneten Lebewesen lösen, da der Mensch unübersichtliche Verhältnisse darbietet, oder man bei ihm auf zufällige Beobachtungen angewiesen ist. Auch die Kenntnis der biologischen Wirkungen der Röntgen- und Gammastrahlen konnte durch brauchbare Testobjekte wesentlich gefördert werden. Man muß von einem solchen verlangen, daß es auf die verabfolgte Dosis mit charakteristischen leicht erkennbaren Formen und Funktionsänderungen antwortet, daß sich die charakteristischen Veränderungen in verschiedener Stärke schon bei geringen Unterschieden der Dosis bemerkbar machen, d. h. das Testobjekt genügend empfindlich ist; endlich daß dasselbe in großer Zahl bei gleicher Abstammung leicht beschaffbar ist, damit das Ergebnis der Versuche durch individuelle Verschiedenheiten nicht verschleiert wird. Alle Bedingungen werden, soweit bisher bekannt, am besten von den Froschlarven (Rana temperaria oder esculenta) erfüllt. Man bestrahlt den Laich, welcher von einer Froschmutter stammt, in einem gewissen Entwicklungszustande und beobachtet nun seine weitere Entwicklung. Geeignete Dosen rufen die sogenannte Radium- oder Strahlenkrankheit hervor: Mißbildungen der Larven, die sich in Verkrümmungen und Blasenbildungen, meist am Bauche (Bauchwassersucht) und kleinen Blasen am Kopfe ausprägen. Die Froschlarven entwickeln sich trotz ihrer Verbildung zunächst noch eine Zeitlang weiter und gehen dann mehr oder weniger schnell zugrunde. Die Versuche über den Einfluß verschieden harter Strahlen ließen sich z. B. mit Hilfe dieses Testobjektes am einwandfreiesten durchführen. Ein anderes beliebtes Testobjekt sind die Keimlinge der Saubohnen (Vicea faba). Diese zeigen aber eine doppelt geringere Empfindlichkeit wie der Froschlaich, und sind daher weniger zu empfehlen.

Da die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten (Licht-, Röntgen-, Radiumstrahlen) in ihrem Wesen gleich erscheinen, liegt es nahe, für alle eine gleiche physikalische Reaktion in den Geweben anzunehmen. Man glaubt diese im Erregen der β-Strahlen (Elektronen, Kathodenstrahlung) gefunden zu haben. Jedenfalls lösen alle Strahlenarten nachweislich im Körper Elektronen aus, und rufen diese andererseits dieselben Wirkungen hervor wie die anders gearteten Strahlungen.

Die statistische Betrachtungsweise in der Physik

Von Prof. Dr. Philipp Frank, Prag.

(Schluß.)

Im Anfange war die Rede von dem Streben, das allgemein in der Natur herrscht, Unterschiede auszugleichen. Zu diesem Streben haben wir jetzt bei dem Zufall unterworfenen Ereignissen eine gewisse Analogie gefunden. Es ist das aber keine bloße Analogie, sondern wenn man näher zusieht, findet man, daß auch bei diesen Naturgesetzen das Streben zum Ausgleich auf das Wirken des Zufalls zurückzuführen ist. Wir wollen als einfachsten und typischen Fall derartiger Naturerscheinungen die sogenannte „Diffusion" betrachten. Wenn ein Raum mit einem Gas gefüllt ist, in dem Unterschiede der Dichte vorhanden sind, strömt Gas so lange von den Stellen größerer Dichte zu den Stellen der Verdünnung, bis sich im ganzen Raum eine konstante Dichte hergestellt hat. (Dabei sehen wir von der Wirkung der Schwerkraft ab.) Wenn man Gase verschiedener Beschaffenheit hat, z. B. Luft, in die etwa Leuchtgas ausgeströmt ist, so verteilen sich schließlich beide Gase mit konstanter Dichte im Raum. Man sagt: Ein Gas „diffundiert" durch das andere, und von den dichteren Stellen diffundiert so lange Gas zu dünneren, bis konstante Dichte für jede einzelne Gasart hergestellt ist. Als Grundgesetz der Diffusion hat man schon lange empirisch festgestellt, daß die Strömung um so rascher erfolgt, je größer an einer

Stelle der Überschuß der Dichte über die der Umgebung ist. Wenn schließlich nahezu die konstante Dichte erreicht ist, die ja nichts anderes ist als die der anfänglichen Verteilung entsprechende mittlere Dichte, so finden, solange noch kleine Dichteunterschiede vorhanden sind, Änderungen der Dichte statt, die um so rascher sind, je größer an der betreffenden Stelle der Überschuß der Dichte über die mittlere Dichte ist. Die Änderungsgeschwindigkeit ist, wie das Grundgesetz der Diffusion besagt, diesem Überschuß proportional. Auch dieses Gesetz ist ganz analog dem Gesetz des Ausgleichs bei statistischen Erscheinungen.

Der erste Grund aber, durch den man dazu geführt wurde, die Diffusion wirklich als eine statistische Erscheinung anzusehen, war die Molekularhypothese. Diese nimmt bekanntlich an, daß ein Gas aus lauter kleinen Teilchen, Molekülen, besteht, die in heftiger Durcheinanderbewegung begriffen sind und sehr häufige Zusammenstöße miteinander und den Wänden des Gefäßes erleiden. Die Erfahrungstatsache, daß jede anfängliche Dichteverteilung schließlich in eine konstante Dichte übergeht, muß dahin gedeutet werden, daß die Moleküle, wie sie auch anfangs verteilt waren, durch die regellosen Zusammenstöße schließlich dahin gebracht werden, daß sie gleichmäßig über den ganzen Raum des Gefäßes verteilt sind. Und wenn dieser Zustand eingetreten ist, kann er durch die Zusammenstöße nicht mehr gestört werden. Da die Wirkung der zahllosen Zusammenstöße im einzelnen nicht verfolgt werden kann, ähnlich wie die Ursachen, die beim Spiel mit den Münzen es bewirken, ob Kopf oder Schrift geworfen wird, liegt es nahe, die Verteilung der Moleküle über den Raum des Gefäßes als ein Ergebnis des Zufalls anzusehen, und zwar die Verteilung in gewissen Zeitpunkten, die in gleichen Abständen aufeinanderfolgen, als das Ergebnis eines Würfelspiels bei aufeinanderfolgenden Würfen. Natürlich haben wir es hier mit Wahrscheinlichkeitsnachwirkung zu tun, da die augenblickliche Verteilung ein gewisses Beharrungsvermögen zeigt, da ja die Teilchen bei jeder Umgruppierung den Widerstand der sich ihnen entgegenstellenden Teilchen zu überwinden haben. Wir wollen aber zunächst von dieser Nachwirkung absehen. Um eine bestimmte Verteilung zahlenmäßig festlegen zu können, denken wir uns den ganzen Raum des Gefäßes in kleine Zellen, k an der Zahl, eingeteilt, die wir uns numeriert denken. Eine Verteilung ist festgelegt, wenn wir angeben, wieviele Moleküle sich in jeder Zelle befinden. Die Zahlen der in der ersten, zweiten, . . . k-ten Zelle befindlichen Moleküle bezeichnen wir mit m_1, m_2 . . . . m_k, die Gesamtzahl der Moleküle sei m. Dann ist

$$m_1 + m_2 + \ldots . + m_k = m.$$

Ähnlich wie bei den Münzwürfen nehmen wir an, daß es für jedes einzelne Molekül gleichwahrscheinlich ist, in welcher Zelle es sich in einem bestimmten Zeitpunkt befindet. Denken wir uns nun auch die Moleküle numeriert und dadurch individuell gekennzeichnet, so gibt es für das erste Molekül k Möglichkeiten des Aufenthaltes, für das zweite ebenfalls k, also für beide, wenn wir jede Aufenthaltsmöglichkeit des einen mit jeder des anderen kombinieren, k^2 Möglichkeiten. Bei m Molekülen gibt es dann offenbar k^m Möglichkeiten, wie sie individuell auf die k Zellen aufgeteilt werden können. Bei der Angabe der Verteilung aber, wie wir sie zur Behandlung der Diffusion brauchen, interessiert uns, wie wir gesehen haben, nicht, welche individuellen Moleküle sich in jeder Zelle befinden, sondern nur wieviele. Von diesen k^m Möglichkeiten entsprechen also viele ein und derselben Verteilung, wie sie durch ein Zahlensystem m_1, m_2 . . . . . m_k gegeben ist. Wenn wir die Verteilung betrachten, bei der alle Moleküle in Zelle Nr. 1 sind (d. i. $m_1 = m$, $m_2 = m_3 = m_k = 0$), so gibt es offenbar eine einzige Art, wie das verwirklicht werden kann, eine einzige unter k^m möglichen. Man überzeugt sich leicht, daß ebenso wie beim Münzenwurf, eine Verteilung auf um so mehr individuelle Arten hergestellt werden kann, je näher sie der gleichförmigen kommt, also der Verteilung $m_1 = m_2 = \ldots . m_k = \frac{m}{k}$. Allgemein läßt sich, wie man durch eine Betrachtung aus der Kombinatorik leicht findet, die Verteilung $m_1, m_2, \ldots, m_k$ auf

$$\binom{m}{m_1}\binom{m}{m_2}\ldots .\binom{m}{m_k}$$

individuelle Arten herstellen. Wenn wir also annehmen, daß die Verteilung der Moleküle in Zeitpunkten, die in gleichen Abständen aufeinanderfolgen, nach den Zufallsgesetzen vor sich geht, als würden die Moleküle einfach in den Raum blindlings ausgestreut, so wird jede Verteilung um so häufiger auftreten, auf je mehr individuelle Arten sie zustande kommt. Am häufigsten wird also Gleichverteilung auftreten und jede Abweichung davon um so seltener, je größer sie ist. Oder wenn wir etwa eine bestimmte Zelle aus dem Gefäß ins Auge fassen, so wird sie bei den meisten Zählungen gerade $\frac{m}{k}$ Moleküle oder eine benachbarte Zahl enthalten, und jede prozentuelle Abweichung von dieser Zahl wird um so seltener auftreten, je größer sie ist. Nun sind allerdings die einzelnen Zahlen nicht voneinander unabhängig, sie entsprechen nicht den Münzwürfen oder Mädchengeburten, sondern den Spaziergängern vor einem Hause in dem Beispiel von *Fürth*. Denn je nach der Zähigkeit des Gases brauchen die Teilchen eine größere oder geringere Zeit, um aus der betrachteten Zelle hinauszukommen. Wenn die Zahl der Teilchen innerhalb einer solchen Zelle ein Ergebnis des Zufalls wäre, müßten für sie dieselben Gesetze gelten, wie für die Zahl der Spaziergänger. Nun zeigt die Erfahrung, daß ein Gas sich mit der

Zeit der konstanten Dichteverteilung nähert und dann darin beharrt. Oder anders gesagt: die Zahl der Teilchen in der betrachteten Zelle nähert sich immer mehr der mittleren Zahl $\frac{m}{k}$ und bleibt dann konstant. Bei den Spaziergängern aber kommen wohl auch die mittleren Zahlen am häufigsten vor, es treten aber auch immer wieder Abweichungen vom Mittel auf, nur um so seltener, je größer sie sind. Von einem Konstantbleiben der Zahl ist, auch wenn man noch so lange wartet, keine Rede. Es scheint also keine Übereinstimmung zu bestehen.

Nun erinnern wir uns aber, daß wir schon an den Beispielen mit den Münzen und den Mädchengeburten gesehen haben, daß große prozentuelle Abweichungen um so seltener auftreten, an je mehr Münzen oder Neugeborenen die Beobachtungen angestellt sind. Dementsprechend werden diese Abweichungen bei der Verteilung eines Gases um so seltener, je mehr Moleküle wir betrachten. Nun werden ja bei der Beobachtung eines Gases die Moleküle nie gezählt, sondern nur aus der Verteilung der Dichte auf die Verteilung der Moleküle geschlossen. In jedem Gasvolumen, dessen Dichte wir feststellen können, sind aber schon ungeheuer viele Moleküle enthalten. Man kann sich davon eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, daß sich in einem cm^3 bei gewöhnlichem Druck und Temperatur etwa 21 Trillionen Moleküle befinden. Es ist also klar, daß irgendwie erhebliche Abweichungen von der mittleren Zahl von Molekülen nur äußerst selten auftreten werden. Was man wirklich als Dichteausgleich beobachtet, ist nur das Folgende:

Wir stellen künstlich einen erheblichen Dichteunterschied her, indem wir in einem Teil des Gefäßes das Gas verdünnen oder verdichten, oder indem wir das Gefäß mit einem, in dem eine andere Dichte herrscht, verbinden. Dann überlassen wir das Gas sich selbst. Das ist so, als würden wir beim Münzenspiel folgendermaßen vorgehen: Ich werfe Trillionen von Münzen in einen Becher und bringe es durch irgendein Kunststück oder indem ich sie einfach so hinlege, zustande, daß fast alle beim Ausschütten des Bechers mit der Kopfseite nach oben liegen. Dann lege ich sie in den Becher zurück, schüttle ihn und werfe die Münzen dann aufs Geratewohl durch planloses Ausschütten auf den Tisch. Es ist klar, daß sofort sich eine ungefähr gleichförmige Verteilung von Kopf- und Schriftwürfen herstellen wird, und daß sich auch nach sehr vielen Versuchen das Ergebnis des ersten „geschwindelten" Versuches nicht wiederholen wird. Es scheint also auch die gleichmäßige Verteilung, nachdem sie sich einmal hergestellt hat, bestehen zu bleiben. Genau so läßt sich offenbar auch der Dichteausgleich in einem Gase auffassen, wobei noch zu beachten ist, daß zum Anschein der gleichmäßigen Verteilung gar nicht notwendig ist, daß wirklich in jeder Zelle gleich viele Moleküle sind, da sie ja nicht gezählt werden und der Anschein gleichmäßiger Gasdichte auch noch bestehen bleibt, wenn die absolute Zahl der Moleküle in den einzelnen Zellen erheblich voneinander abweicht. Die Nichtumkehrarbeit des Dichteausgleichs, wie sie sich empirisch ergibt, kann man also auch als statistische Erscheinung auffassen, wenn wir nur daran denken, daß die Molekülzahl sehr groß und der anfängliche Dichteunterschied ein künstlicher war. Auf solchen künstlich hergestellten Dichteunterschieden beruhen aber alle Versuche, aus denen wir die Tatsache des nicht umkehrbaren Dichteausgleiches entnehmen. Man kann also wohl sagen, daß die Erfahrung der Auffassung, das Ausgleichsstreben in der Natur sei dem Spiel des Zufalls zuzuschreiben, nicht widerspricht. Man kann aber nicht sagen, daß sie durch die Erfahrung über den Dichteausgleich in Gasen bestätigt wird. Denn wir haben es bei diesen Erfahrungen immer mit solchen statistischen Vorgängen zu tun, die so ausgeartet sind, daß die etwas selteneren Dichteverteilungen ganz verschwinden und von selbst gar nicht mehr auftreten, so daß wesentliche Züge, die für statistische Vorgänge kennzeichnend sind, ganz verwischt werden.

Man könnte aber offenbar die selteneren Zustände, die größeren Abweichungen vom häufigsten Zustand beobachten, wenn man anstatt mit so ungeheuer vielen Molekülen mit einer kleineren Anzahl arbeiten könnte. Wenn bei Verminderung der Zahl von Molekülen der Ausgleichsvorgang seine strenge Einseitigkeit verliert und in jene Form der Erscheinung übergeht, wie wir sie bei den Mädchengeburten oder den Spaziergängern beschrieben haben, daß nämlich die ausgeglichenen Zustände wohl am häufigsten auftreten, erhebliche Abweichungen aber auch immer wieder von selbst auftreten, wenn auch verhältnismäßig selten, dann kann man sagen, daß die Erfahrung es geradezu rechtfertigt, den Ausgleichsvorgang als eine statistische Erscheinung anzusehen. Nun sind aber in jedem Volumteil, dessen Dichte wir überhaupt beobachten können, schon ungeheuer viele Moleküle enthalten, so daß Beobachtungen an einer geringen Anzahl von Molekülen zunächst unmöglich erschienen.

Ein Ausweg zeigte sich erst, als man entdeckte, daß kleine mikroskopisch sichtbare Teilchen von der Größe eines Millionstel-Zentimeters, wie sie z. B. *Ehrenhaft* und seine Schüler bei den bekannten Untersuchungen über die Größe des elektrischen Elementarquantums und über den Lichtdruck verwenden, in einem Gase eine Zickzackbewegung ausführen, ganz wie man sich nach der Molekularhypothese die Bewegung der Gasmoleküle vorstellt. In der Tat kann nach dieser Hypothese der Vorgang kein prinzipiell anderer werden, wenn ein Teil der Moleküle viel größer als die anderen sind, ja selbst wenn sie die mikroskopisch sichtbare Größe erreichen. Ein Schwarm solcher Teilchen muß sich also genau so verhalten wie die Gasmoleküle in einem Raum, nur sind

die Bewegungen der größeren Teilchen weniger lebhaft, weil sie von den kleinen Gasmolekülen beim Zusammenstoß keine so großen Geschwindigkeiten erhalten wie diese Moleküle selbst. Wir können nun sehr leicht in einem Gase einen Volumteil beobachten, in dem sich nur eine kleine Anzahl solcher mikroskopischer Teilchen befindet, die sich, wie man das nennt, in Brownscher Bewegung befinden; so heißt nämlich diese spontane Zickzackbewegung kleiner Teilchen nach ihrem Entdecker, dem Botaniker *Brown*. Von diesem wurde die Bewegung allerdings an Teilchen beobachtet, die in einer Flüssigkeit suspendiert sind, während sie in Gasen erst in neuerer Zeit von *Ehrenhaft* und *Zsigmondy* beobachtet wurde.

Die Versuche, von denen wir hier sprechen wollen, um die Wirkung der Verkleinerung der Teilchenzahl empirisch zu untersuchen, beziehen sich aber auf Brownsche Bewegung in Flüssigkeiten. *Svedberg*[1]) hat Versuche angestellt, die eine genaue Analogie zu dem besprochenen Beispiele mit den Spaziergängern sind. Er betrachtet eine kolloidale Goldlösung durch ein Mikroskop, wobei das Gesichtsfeld des Mikroskops so verengt ist, daß die darin befindliche Zahl von Goldteilchen sich mit einem Blick feststellen läßt. Er beobachtet dann in gleichen Zeitabständen 39-mal in der Minute und notiert jedesmal die Zahl der im Gesichtsfeld, also in einem bestimmten Volumenteil befindlichen Goldteilchen. Die Zahlen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Wenn man sich die Zahlen ansieht, so ist es zunächst ganz deutlich, daß sich keineswegs schließlich eine bestimmte mittlere Teilchenzahl einstellt und erhalten bleibt wie die konstante Dichte bei

Tabelle 4.

1 2 0 0 0 2 0 0 1 3 2 4 1 2 3 1 0 2 1 1 1 1 3 1 1 2
5 1 1 1 0 2 3 3 1 3 3 3 2 2 1 1 1 2 2 4 2 2 1 2 2 6
1 2 2 1 4 2 3 4 5 2 4 1 1 4 1 3 1 1 4 2 3 1 0 0 1 0
0 4 2 1 1 2 3 1 2 3 2 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 2 1 1 0
0 1 3 2 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 2 3 2 2 1
0 0 2 1 1 0 0 0 0 2 0 1 0 0 1 3 3 3 1 2 2 0 0 0 2 3
1 2 2 1 0 2 4 0 1 1 1 0 2 1 2 2 2 1 1 2 2 3 1 0 0 0
1 1 0 3 3 1 1 1 0 2 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 3 0 1 1 3 1
2 1 2 1 0 1 0 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 0 0 0 3 2 2 1 0 1
2 3 0 2 0 1 2 1 2 1 3 2 1 1 1 0 1 1 0 0 2 3 3 1 2 2
4 2 1 1 0 0 0 1 2 0 3 0 1 0 1 0 0 2 2 1 7 3 4 4 1 0
1 0 1 0 0 2 1 1 2 2 1 1 4 4 4 4 2 1 2 1 1 4 4 0 1 3
2 1 2 3 3 1 4 3 1 3 0 1 1 2 2 2 1 2 3 3 1 0 1 2 1 1
1 1 2 2 2 4 1 2 2 3 1 1 1 3 3 2 2 1 3 2 1 1 0 0 0 0
4 1 0 4 3 2 0 1 2 1 2 0 0 1 1 3 2 2 2 3 1 2 0 0 2 5
3 2 1 2 0 3 3 2 3 3 1 1 1 1 0 0 2 1 0 0 2 2 0 1 3 0
1 1 3 2 1 1 3 1 2 0 0 1 0 1 3 1 4 3 2 2 1 1 2 2 1 1
2 2 3 2 3 4 4 2 2 2 3 0 3 2 1 4 2 1 5 3 2 2 0 0 2 0
2 1 4 2 1 2 3 2 3 2 0 4 3 1 1 2 3 1 2 0 0 3 3 1 4 2
2 3 4 5 2 1 3 4 1 1 0 4 1 2 3 2 2 2 2 0 2 2 1.

Gasen, sondern daß wir es mit fortwährenden sich erneuernden Schwankungen um eine mittlere Zahl zu tun haben, bei der auch beträchtliche prozentuelle Abweichungen vom Mittel immer wieder von selbst auftreten. Da diese Erscheinung prinzipiell mit dem Dichteausgleich bei Gasen, wie ihn die Molekularhypothese auffaßt, ganz übereinstimmt, so ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, daß auch im Gase die Nichtumkehrbarkeit des Dichteausgleiches nur ein Schein ist, der, wie gesagt, durch die ungeheuer große Zahl der Teilchen hervorgerufen wird, wodurch eine künstlich hervorgebrachte Ungleichmäßigkeit sich sofort ausgleicht, während das menschliche Leben zu kurz ist, auf das spontane Auftreten einer nur irgendwie beträchtlichen prozentuellen Abweichung vom ausgeglichenen Zustand zu warten.

Die Svedbergsche Zahlenreihe wurde von *Smoluchowski*[1]) theoretisch untersucht. Er betrachtet den mittleren Sprung von einer Zahl n aus, wie wir ihn bei den Mädchengeburten und Spaziergängern betrachtet haben. Er findet wieder die Formel (2)[2]) gut bestätigt. Die Zahlen der Tabelle 4 ergeben $\nu = 1{,}55$ und sind mit Gleichung (7)[3]) am besten in Übereinstimmung zu bringen, wenn $P = 0{,}726$ gesetzt wird. Es findet also, wenn wir unsere frühere Ausdrucksweise beibehalten, eine Wahrscheinlichkeitsnachwirkung statt. Es ist klar, daß diese ganze Erscheinung vollkommen analog dem Beispiel mit den Spaziergängern ist, und dieses ist ja auch dazu aufgestellt, um die Smoluchowskischen Betrachtungen über Diffusion an einem rein statistischen Beispiel zu erläutern. Von *Smoluchowski* wird die Gleichung (7) aber nicht, wie wir es getan haben, aus der ziemlich willkürlichen, in Gleichung (4)[4]) formulierten Annahme über Wahrscheinlichkeitsnachwirkung abgeleitet, sondern durch näheres Eingehen auf den Diffusionsprozeß, wobei ziemlich verwickelte Aufgaben der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu lösen sind, auf die wir deshalb hier nicht näher eingehen können. Es ist aber klar, daß die Gleichung (7) tatsächlich das empirisch ermittelte Grundgesetz der Diffusion enthält, wie wir es schon ausgesprochen haben, und daß der Proportionalitätsfaktor P um so größer ist, je leichter die Diffusion vor sich geht, also je dünnflüssiger die Umgebung der in Brownscher Bewegung begriffenen Teilchen ist. P hängt, wie *Smoluchowski* in seiner Ableitung zeigt, auch wirklich in einfacher Weise mit der Größe zusammen, durch die experimentell die Geschwindigkeit der Diffusion in einer Flüssigkeit gemessen wird. Wir sehen also, daß auch dieser „Diffusionskoeffizient", also eine physikalische Eigenschaft bestimmter Substanzen, schon in der Größe P, wie sie bei rein statistischen Vorgängen vorkommt, seine Bedeutung hat.

Wenn man die hier dargelegte statistische Auffassung des Ausgleichsstrebens in der Natur festhält, wird wohl auch ein Widerspruch ver-

[1]) *Svedberg*, Die Existenz der Moleküle 1912. S. 148.

[1]) *M. Smoluchowski*, Drei Vorträge über Diffusion, Brownsche Molekularbewegung usw., Phys. Zeitschr., 17. Jahrg. 1916.

[2]) $\frac{1}{N}(n_1 + n_2 + \ldots) = \nu$ . . . . . (2

[3]) $S_n = P(\nu - n)$ . . . . . (7

[4]) $\nu_n = \nu + q(n - \nu)$ . . . . . (4

schwinden, den man oft zwischen der mechanischen Naturerklärung und dem Ausgleichsstreben, wie es die Erfahrung zeigt, gefunden hat. Es war wohl *Loschmidt* der erste, der gesagt hat:

Wenn ein Gas wirklich aus Molekülen besteht, die nach irgendwelchen mechanischen Gesetzen beim Zusammenstoß aufeinander wirken, so ist es unmöglich, zu verstehen, wieso ein Gas, in dem anfangs Dichteunterschiede vorhanden waren, sich schließlich einem Zustande konstanter Dichte nähert und in diesem verharrt. *Loschmidt* betrachtet einen Zustand A des Gases, in dem große Dichteunterschiede vorhanden sind. Dieser gehe in einer gewissen Zeit in einen Zustand B über, in dem die Dichte konstant ist. In diesem Zustand B werden die Gasmoleküle gewisse Lagen und Geschwindigkeiten haben. Im Laufe der vielen zufälligen Zusammenstöße der Gasmoleküle muß ungefähr ebenso oft wie der Zustand B ein Zustand B^* auftreten, in dem die Moleküle genau dieselben Lagen und Geschwindigkeitsbeträge haben wie im Zustand B, nur daß die Richtungen der Geschwindigkeiten gerade die entgegengesetzten sind. Nun durchläuft bei allen mechanischen Vorgängen ein System, wenn ich die Richtungen der Geschwindigkeiten seiner Teile umkehre, dieselben Zustände wie vorher, nur in umgekehrter Reihenfolge. So wird z. B. ein fallender Stein, wenn ich seine Endgeschwindigkeit gegen aufwärts richte, wieder durch dieselben Geschwindigkeitsgrade und Lagen hinaufsteigen, wie er gefallen ist. Infolgedessen muß auch unser Gas aus dem Zustand B^* wieder in den Zustand A zurückkommen, d. h. aus dem Zustand konstanter Dichte B^* in einen Zustand mit großen Dichteunterschieden. In der Erfahrung werden aber solche Übergänge nie beobachtet, sondern nur die von der Art $A \rightarrow B$; folglich ist die Erfahrung mit der Auffassung des Gases als mechanisches System von Molekülen nicht vereinbar. — Dieser Einwand ist auch noch später, besonders von seiten der Energetiker, gegen die molekularkinetische Hypothese ausgenutzt worden. Man sagte, die Mechanik könne die Nichtumkehrbarkeit der Prozesse nicht erklären. Es ist aber sehr einfach, was nach der hier dargelegten statistischen Auffassung darauf zu erwidern ist: Die Nichtumkehrbarkeit ist nur durch die große Zahl von Molekülen *vorgetäuscht*. Es kommen tatsächlich Übergänge von ausgeglichenen Zuständen zu großen Dichteunterschieden genau so oft vor, wie die umgekehrten, nämlich beide höchst selten. Daß dem wirklich so ist, sieht man an den Versuchen von *Svedberg* an wenigen mikroskopisch sichtbaren Teilchen, wo man geradezu an der Tabelle 4 nachzählen kann, daß der Übergang z. B. von 5 zu 2 Teilchen ungefähr ebenso oft vorkommt, wie der umgekehrte. Daß wir bei Gasen immer nur die eine Richtung beobachten, rührt, wie schon gesagt, daher, daß wir immer von schon vorhandenen Dichteunterschieden *ausgehen* und nicht warten, bis von selbst einer *entsteht*. Wenn wir aber von ausgeglichenen Zuständen ausgehen, können wir uns nicht diejenigen von der Art B^*, die zu Dichteunterschieden hinführen würden, heraussuchen, sondern wir müssen geduldig warten, bis ein solcher auftritt. Während wir die Zustände mit großen Dichteunterschieden leicht erkennen, können wir bei den ausgeglichenen Zuständen die seltenen B^*, die von selbst zu Dichteunterschieden hinführen, von den viel häufigeren nicht unterscheiden, die wieder zu ausgeglichenen führen. Denn wir können die Geschwindigkeiten der Moleküle nicht sehen, und selbst wenn wir sie sehen könnten, würden wir wohl kaum leicht beurteilen können, ob sie einem Zustand von der Art B^* entsprechen oder nicht. Der Schein der Nichtumkehrbarkeit, der Einseitigkeit des Vorganges in der Zeit wird noch dadurch verstärkt, daß wir bei einem Zustand mit großen Dichteunterschieden mit großer Wahrscheinlichkeit, ja praktisch geradezu mit Gewißheit voraussagen können, daß sich das Gas jetzt einem Zustand größerer Ausgeglichenheit nähern wird, während wir bei einem Zustand konstanter Dichte niemals vorhersagen können, daß aus ihm einer mit Dichteunterschieden entstehen wird. Das führt uns aber zu der Frage, wie sich unsere Betrachtungen zu dem allgemeinen Kausalitätsprinzip in der Physik verhalten.

Wenn wir dieses so aussprechen, wie es in der Physik angewendet werden kann, besagt es: Durch den gegenwärtigen Zustand eines abgeschlossenen Systems von Körpern ist sein zukünftiger eindeutig bestimmt, d. h. so oft das System einen Zustand A annimmt, folgt ein bestimmter Zustand B darauf. Dabei ist „Zustand“ nichts anderes als der Inbegriff aller physikalischen Merkmale des Systems, durch die es beschrieben werden kann. In einem Gase ist der Zustand empirisch-physikalisch bestimmt, wenn ich für alle Teile Temperatur und Dichte kenne. Nun haben wir aber gesehen, daß dadurch die künftigen Zustände nicht eindeutig bestimmt sind. Denn ein Gas konstanter Dichte wird meist in seinem Zustand beharren, manchmal werden aber auch von selbst Dichteunterschiede entstehen. Wenn man also unter Zustand nur den Inbegriff aller *physikalisch meßbaren* Merkmale des Systems versteht, hat das Kausalgesetz keine Gültigkeit. Man muß vielmehr im Sinne der Molekulartheorie auch unbedingt zur Beschreibung des Zustandes die Angabe der Lage und Geschwindigkeit aller Moleküle hinzunehmen, wodurch zwar das Kausalgesetz gerettet, seine wirkliche Anwendung aber unmöglich gemacht wird.

Bei dieser Betrachtung über die Gase ist die Ungültigkeit des Kausalgesetzes im Gebiet der empirisch-physikalischen Zustände allerdings nur theoretisch erschlossen, denn in Wirklichkeit nehmen wir jene spontane Entstehung von Dichteunterschieden nie wahr. Man braucht aber nur zu der Brownschen Bewegung von mikroskopischen Teilchen in Gasen oder Flüssigkeiten über-

zugehen, um die Ungültigkeit des Kausalgesetzes in diesem Sinn ganz drastisch und handgreiflich vor Augen zu sehen. Wenn mir für einen bestimmten Zeitpunkt Lage und Geschwindigkeit aller in einer Flüssigkeit in Brownscher Bewegung befindlichen Teilchen bekannt sind, außerdem noch die Dichte und Temperatur der Flüssigkeit in allen ihren Teilen, so kann ich doch daraus nicht die mindeste Voraussage über die künftige Verteilung der Teilchen machen, auch nicht für die unmittelbar folgenden Zeitpunkte. Nur das von *Smoluchowski* abgeleitete Diffusionsgesetz (Gl. [7]), das aber nur Mittelwerte über längere Zeiträume enthält, läßt sich bestätigen. Aber aus einem gegebenen Zustand A können im nächsten Zeitmoment sehr verschiedene Zustände B hervorgehen. Wenn allerdings auch Lage und Geschwindigkeit aller Moleküle der Flüssigkeit bekannt wären, würde man sehen, daß die empirisch gleich erscheinenden Zustände A in Wirklichkeit sehr verschieden sind, und daß bei dieser molekulartheoretischen Fassung des Zustandsbegriffes das Kausalgesetz wieder erhalten bleibt. Aber im Gebiete der empirisch-physikalischen, der experimentell meßbaren Größen, kann man sagen, gibt es keine Kausalität.

Wenn man das alles bedenkt, gewinnt man einen gewissen Standpunkt gegenüber der oft aufgeworfenen Frage, ob es für das soziale Leben der Menschen, wie es in den Geschichtswissenschaften behandelt wird, ebensolche Gesetze gibt, wie für die Naturerscheinungen. Unter einem historischen Gesetz würde man eine Anweisung verstehen, die uns befähigt, aus dem gegenwärtigen Zustand einer abgeschlossenen Gruppe von Völkern ihr künftiges Schicksal vorherzusagen. Der gegenwärtige Zustand ist im Sinne der historischen Wissenschaften gegeben, wenn wir die politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse, den Volkscharakter usw. kennen. Wir wollen sogar annehmen, daß uns statistische Daten über alles vorliegen, über was man je statistische Tabellen angelegt hat. Wenn wir aus alledem die Zukunft der Völkergruppe nicht vorhersagen können, so gibt es keine historischen Gesetze. Man hat oft gesagt, das Kausalgesetz erfordere das Vorhandensein historischer Gesetze. Das ist aber nicht richtig. Das Kausalgesetz erfordert nur, daß wir die Zukunft einer Völkergruppe vorhersagen können, wenn uns der gegenwärtige Zustand jedes einzelnen Menschen physisch und psychisch *bis in die kleinste Einzelheit* gegeben ist, d. h. es erfordert nur, daß es physiologisch-psychologische Gesetze gibt. Das entspricht dem, daß wir die Zukunft einer Flüssigkeit, in der Teilchen in Brownscher Bewegung begriffen sind, vorhersagen können, wenn wir Lage und Geschwindigkeit aller Moleküle kennen, nicht aber aus den experimentell feststellbaren Eigenschaften der Flüssigkeit. Die Geschichtswissenschaft arbeitet aber mit viel weniger ins einzelne gehenden Merkmalen, sie will Gesetze darüber haben, wie eine Staatsform auf die andere folgt oder ein Wirtschaftssystem ein anderes ablöst. Eine derartige Gesetzmäßigkeit muß aber durchaus nicht existieren, ebensowenig wie aus der Lage der Brownschen Teilchen in der Flüssigkeit und den physikalisch meßbaren Eigenschaften der Flüssigkeit sich das künftige Schicksal dieses Systems von Körpern vorhersagen läßt. Das Kausalgesetz erfordert also durchaus nicht die Existenz historischer Gesetze. Es könnte ganz gut sein, daß die Merkmale, mit denen der Historiker Völkergruppen beschreibt, prinzipiell nicht ausreichen, das Kausalgesetz zu erfüllen, und daß es keine historische, sondern nur eine individualpsychologische Kausalität gibt.

Wir haben gesehen, daß es auch bei rein physikalischen Erscheinungen nicht immer Gesetze von der Art gibt, daß sie uns gestatten, aus dem empirisch feststellbaren Zustand zu einer bestimmten Zeit die künftigen Zustände vorauszusagen. So war die Zukunft einer Flüssigkeit, in der sich Teilchen in Brownscher Bewegung befinden, erst vorherbestimmt, wenn wir die Lage und Geschwindigkeit aller Flüssigkeitsmoleküle kennen. Nun hat *Tatjana Ehrenfest*[1]) einen Gedanken ausgesprochen, mit Hilfe dessen man auch in solchen Fällen Gesetzmäßigkeiten feststellen kann, die nur experimentell meßbare Größen enthalten.

Ein solcher empirisch feststellbarer Zustand zur Zeit t_0 sei etwa Z_0. Seine Beschreibung besteht darin, daß uns Dichte und Temperatur der Flüssigkeit und die Lage sämtlicher in Brownscher Bewegung begriffenen Teilchen angegeben wird. Es gibt aber sehr viele molekulartheoretische Zustände, nennen wir sie etwa M_1, M_2, M_3, . . ., die diesem Z_0 entsprechen. Um einen solchen molekulartheoretischen Zustand zu beschreiben, muß ich Lage und Geschwindigkeit jedes einzelnen Flüssigkeitsmoleküls angeben. Betrachten wir nun die empirischen Zustände in den in gleichen Abständen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten t_0, t_1, t_2, t_3, ... Aus Z_0 können sich sehr vielerlei empirische Zustände entwickeln, je nachdem, ob hinter Z_0 der molekulare Zustand M_1 oder M_2 oder ein anderer steckte. Wenn wir aber auch den empirischen Zustand zur Zeit t_1 kennen, er heiße etwa Z_1, so können nicht alle zu Z_0 gehörigen molekularen Zustände zu ihm hinführen. Kennen wir auch noch Z_2, den empirischen Zustand zur Zeit t_2, so ist dadurch eine weitere Reihe von molekularen Zuständen für den Zeitpunkt t_0 *ausgeschlossen*. Wenn wir die empirischen Zustände für eine ganze Reihe von Zeitpunkten t_0, t_1, t_2, ... kennen, werden wir schließlich zu einem Zeitpunkt kommen, wo wir so viele empirische Zustände kennen, daß nur ein *einziger* von den Z_0 entsprechenden molekularen Zuständen diese Reihe hervorbringen kann. Es sei das im Zeitpunkt t_n der Fall. Dann ist durch Angabe der empirischen Zustände $Z_0, Z_1, Z_2, \ldots$

[1]) Berichte der Akademie der Wissenschaften in Amsterdam 1918.

in den Zeitpunkten t_0, t_1, t_2, ... der molekulare Zustand im Zeitpunkt t_0 und daher die ganze Zukunft des Systems bestimmt. Wenn es also auch kein Gesetz gibt, das erlaubt, aus der Lage der Brownschen Teilchen zur Zeit t_0 ihre zukünftigen Lagen vorauszusagen, so muß es doch ein Gesetz geben, das uns das aus der Kenntnis der Lagen dieser Teilchen während der Zeitstrecke t_0 bis t_n gestattet.

Und diese Art von Voraussagen spielen auch in der Geschichte eine große Rolle. Es ist ganz unmöglich, aus den *gegenwärtigen* politischen und wirtschaftlichen Zuständen die zukünftigen vorherzusagen. Wenn wir aber diese Zustände durch *eine längere Zeitstrecke* beobachten, so wird diese Vorhersage viel eher möglich. Man pflegt ja oft zu sagen, wenn man aufgefordert wird, seine Meinung über die nächste Zukunft abzugeben: „Ich muß noch etwas zusehen, wie die Dinge laufen."

Die künstliche Zerlegung des Stickstoffatoms.

Dem Wunsche der Redaktion der „Naturwissenschaften" nach einem Bericht über die neueste Arbeit von *E. Rutherford*, dem es gelungen ist, das Stickstoffatom künstlich in einfachere Bestandteile zu zerlegen, komme ich durch folgende Zeilen nach, die einen Auszug aus dem Nachtrage zu meiner soeben in der „Sammlung Vieweg" erschienenen Monographie „Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen" vorstellen. Näheres nebst Literaturangaben ist daselbst zu finden.

Zu seiner grundlegenden Entdeckung ist *Rutherford* beim Studium des Durchganges von α-Strahlen durch leichte Gase gelangt. Schon früher einmal, nämlich im Jahre 1911, hat das Verhalten der α-Strahlen bei ihrem Durchgang durch Materie zu einer anderen epochemachenden Erkenntnis geführt, nämlich zu der heute allgemein anerkannten Ansicht *Rutherfords*, daß die *positive Elektrizität des Atoms* in einem im Vergleich zu den Dimensionen des ganzen Atoms *sehr kleinen Kern* konzentriert ist. Und zwar waren es die scharfen Knicke, die in Fig. 1 die Bahn eines α-Teilchens in Luft, in Fig. 2 in Wasserstoff erkennen läßt, die *Rutherford* zu der Idee der Atomkerne geführt hatten. Denn so starke Ablenkungen der mit Geschwindigkeiten von mehreren tausend km/sec fliegenden α-Teilchen bei ihrem Zusammenstoß mit einem einzelnen Atom des durchflogenen Gases sind nur dann zu verstehen, wenn durch eine besonders innige Annäherung des α-Teilchens an innerhalb des Atoms auf sehr kleinen Raum konzentrierte elektrische Ladungen (positive Kerne) enorme elektrostatische Kräfte entstehen können. *Rutherford* und seine Schüler fanden auf diesem Wege, daß der Radius des Kernes des Goldatoms kleiner als $3 \cdot 10^{-12}$ cm ist, und daß der des α-Teilchens und des Wasserstoffkernes höchstens von der Größenordnung 10^{-13} cm sein kann, während ja der Radius der Atome von der Größenordnung 10^{-8} cm ist.

Nun wird bei einem derartigen innigen Zusammenstoß eines α-Teilchens mit dem Kern eines Atoms nicht nur das α-Teilchen eine Ablenkung von seiner Bahn erleiden, sondern es muß auch das gestoßene Atom in Bewegung gesetzt werden, und zwar wird dieses nach den Gesetzen des elastischen Stoßes eine um so größere Geschwindigkeit erlangen, je kleiner seine Masse ist. Ganz besonders groß wird deshalb diese Geschwindigkeit werden, wenn ein α-Teilchen in unmittelbare Nähe eines Wasserstoffkernes kommt, etwa beim Durchqueren von Wasserstoffgas. Diese Bewegung der getroffenen Atome ist in Fig. 1, besonders deutlich aber in Fig. 2 zu sehen. Wie *C. G. Darwin* berechnete, muß die Geschwindigkeit, die ein Wasserstoffkern in dem günstigsten Falle des zentralen Stoßes erlangt, 1,6-mal größer sein als die Geschwindigkeit des auftreffenden, eine vierfache Masse besitzenden α-Teilchens, und *die Reichweite* eines solchen durch zentralen Stoß entstandenen *schnellen H-Teilchens* sollte etwa *4-mal größer sein als die des ursprünglichen α-Teilchens.*

Daß dies in der Tat zutrifft, hat *E. Marsden* (1914) gezeigt. Während die Reichweite von α-Teilchen, die

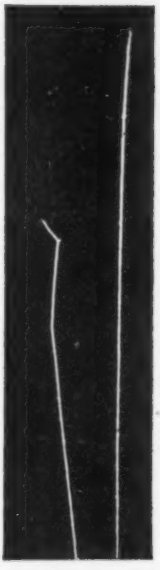

Fig. 1.

Fig. 2.

aus einem sehr dünnwandigen Röhrchen mit Radiumemanation kamen, im Wasserstoff vom Atmosphärendruck 24 cm betrug, konnten unter diesen Bedingungen noch in einer Entfernung von über 80 cm vom Röhrchen auf einem *Zinksulfidschirm* Szintillationen beobachtet werden. Daß diese Szintillationen von sehr schnellen H-Kernen, d. h. von einfach positiv geladenen Teilchen von der Masse eins herrühren, wurde in den eben veröffentlichten Versuchen von *Rutherford* durch Messung der Ablenkung dieser Teilchen im elektrischen und magnetischen Feld bewiesen.

Derartige H-Teilchen mit großer Reichweite beobachteten *E. Marsden* und *W. C. Lantsberry* (1915) auch dann, als sie α-Teilchen durch eine sehr dünne Schicht einer wasserstoffhaltigen Substanz, z. B. Wachs, passieren ließen. Um ein solches schnelles H-Teilchen zu erzeugen, muß ja ein α-Teilchen ganz dicht an den Kern eines Wasserstoffatoms herankommen, und dieser erhält dabei einen so mächtigen Stoß, daß er aus dem Atomverband herausfliegt, gleichgültig, ob das Atom an seiner Oberfläche an andere chemisch ge-

bunden war oder nicht. Wie selten übrigens derartige zentrale Zusammenstöße vorkommen, ergibt sich aus der Angabe von *Rutherford*, daß pro 10^5 α-Teilchen, von denen jedes auf seinem Wege durch 1 cm Wasserstoffgas mit etwa 10^4 Wasserstoffmolekülen zusammenstößt, nur ein H-Teilchen von großer Reichweite entsteht.

Beim näheren Studium dieser Erscheinungen fand nun *Rutherford* (1919), daß α-Teilchen eines mit *Radium C* bedeckten Bleches auch auf ihrem Wege durch gut getrocknete Luft, nicht aber in Sauerstoff oder Kohlensäure, solche H-Teilchen mit großer Reichweite erzeugen. Die Versuchsanordnung wurde dabei so getroffen, daß vor dem Zinksulfidschirm der durch einen das betr. Gas enthaltenden Zwischenraum von 3 cm Länge vom *Radium C* getrennt war, dünne Metallfolien eingeschaltet wurden, deren Dicke so bemessen war, daß sie die α-Teilchen des *Radiums C* vollkommen aufhielten, die H-Teilchen jedoch noch leicht durchließen.

Rutherford folgerte aus obigen Befunden, daß es nur der *Stickstoff* der Luft sein konnte, der den beobachteten Effekt hervorrief, und in der Tat wurde bei Verwendung von chemisch-reinem Stickstoff eine um 25 % größere Zahl dieser Szintillationen mit großer Reichweite gefunden, als in Luft. Die Durchdringungsfähigkeit der in Luft oder Stickstoff erhaltenen Teilchen war, ähnlich wie bei den in Wasserstoffgas entstehenden H-Teilchen, bis etwa viermal größer als die Durchdringungsfähigkeit der sie erzeugenden α-Strahlen. Eine so große Wucht können die α-Teilchen nur solchen Partikeln erteilen, die eine beträchtlich kleinere Masse als sie selbst besitzen, und man kann deshalb schwerlich die Schlußfolgerung umgehen, daß es *Rutherford* gelungen ist, *aus dem Kern des Stickstoffatoms mit Hilfe von α-Strahlen leichte Teilchen herauszuschießen*, die sich bei näherer Untersuchung wohl als Wasserstoffkerne erweisen werden.

Somit ist durch diese Versuche zum ersten Mal nachgewiesen worden, daß nicht nur die schweren radioaktiven Kerne, sondern auch der zu den leichtesten zählende *Stickstoffkern aus einfacheren Bestandteilen aufgebaut ist*, und zwar ist es als sehr wahrscheinlich anzusehen, daß der Stickstoffkern mit der Masse 14 aus 3 Heliumkernen von der Masse 4 und 2 Wasserstoffkernen von der Masse 1 besteht. Da die Kerne des Kohlenstoffatoms (Atomgewicht $12{,}0 = 3 \times 4{,}0$) und des Sauerstoffatoms ($16{,}0 = 4 \times 4{,}0$) wahrscheinlich nur aus Heliumkernen aufgebaut sind, versteht man, weshalb weder im Sauerstoffgas noch in Kohlensäure H-Teilchen zu erhalten waren.

Es ist von großem Interesse, daß die Zahl der aus den Stickstoffkernen herausgeschleuderten H-Teilchen etwa 12 mal kleiner ist, als sie bei gleicher Zahl von Zusammenstößen der α-Teilchen mit unverbundenen H-Kernen des Wasserstoffgases erhalten wird. Daraus konnte *Rutherford* folgern, daß nur etwa 1 pro 10^{10} Zusammenstöße der α-Teilchen mit Stickstoffmolekeln zum Zerfall des Stickstoffatoms führt und daß dazu eine besondere Region dessen Kernes getroffen werden muß. Aus den Versuchen ergibt sich auch, daß der Durchmesser des Stickstoffkernes von der Größenordnung von 10^{-12} cm ist und daß bei günstigem Zusammenstoß eines α-Teilchens mit einem Wasserstoffkern deren Zentren auf eine Entfernung von etwa 3×10^{-13} herankommen können.

K. Fajans, München.

Besprechungen.

Wien, W., Neuere Entwicklung der Physik und ihrer Anwendungen. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1919. IV, 116 S. Preis M. 6,—.

Die drei Vorträge über neuere Errungenschaften der Physik, über Physik und Erkenntnistheorie und über Physik und Technik, die *Wien* im Frühjahr 1918 gehalten hat — den ersten in Riga, den zweiten in Dorpat, den dritten in Reval —, bieten jedem, der Interesse an der Physik nimmt, eine Überfülle von Anregung und Belehrung. Allen denen aber, die die Physik zu ihrem Lebensberufe gemacht haben, bieten sie obendrein eine umfassende Übersicht über das, was sie von der stürmischen Entwicklung ihres eigenen Arbeitsgebietes während der letzten dreißig Jahre zum Teil — oder auch ganz — selber mit angesehen haben. *Wien* hat freilich keine Unterhaltungsvorträge gehalten, sondern Vorträge, die an wissenschaftliche Beschäftigung gewöhnte Hörer voraussetzen und Sammlung und Mitarbeit beanspruchen, und die beim Hören sicherlich nur denen ganz zugänglich geworden sein werden, die mit dem Gedankenkreise schon vertraut waren. Aber beim Lesen sind sie jedem naturwissenschaftlich Interessierten — natürlich dem einen mehr, dem andern weniger — verständlich, und die Verlagsbuchhandlung hat sich durch die Herausgabe der Vorträge ein großes Verdienst erworben, um so mehr, als das Buch durch die Fülle von Anmerkungen zu jedem einzelnen Vortrage noch wesentlich mehr bietet, als die Vorträge es schon allein tun.

Daß ein Physiker von *Wiens* Bedeutung, der die Physik der letzten drei Jahrzehnte nicht als bloßer Zuschauer, sondern vor allem als Schaffender und außerdem als Hochschullehrer erlebt hat, ihre Entwicklung besonders anschaulich schildert, bedarf nicht erst eingehender Darlegung. Der erste Vortrag ist eine Geschichte der Physik seit der Mitte der achtziger Jahre im kleinen, die freilich nur die Hauptereignisse schildert, diese aber so eindringlich und so mit Betonung des Wesentlichen, daß keines der jüngeren Semester unter den Physikern sie zu lesen verabsäumen sollte. Gilt das schon von dem ersten Vortrage, so noch viel mehr — wenn auch aus anderen Gründen — von den beiden andern, dem zweiten, um daraus zu lernen, daß der Physiker die Beschäftigung mit der Philosophie nicht nach Belieben pflegen oder vernachlässigen darf, und dem dritten, um für die Bedeutung der Technik eine gerechtere Beurteilung zu gewinnen als die Physiker im allgemeinen haben.

Die Physik hat aus den erkenntnistheoretischen Lehren schon oft großen Nutzen gezogen, aber selbst unter den Forschern haben immer nur einzelne die Grenze zwischen Physik und Philosophie überschritten, und unter den angehenden Physikern werden sich nicht viele aus einem andern Grunde mit ihr beschäftigen, als weil sie zu den vorgeschriebenen Prüfungsfächern der in der philosophischen Fakultät Eingeschriebenen gehört. Diesem meist nur als Last empfundenen Zwange entspricht auch meist der Umfang ihres philosophischen Wissens. Um so wertvoller ist es, daß *Wien* zeigt, wie notwendig für den wissenschaftlichen Physiker die Beschäftigung mit der Philosophie im allgemeinen und der Erkenntnistheorie im besonderen ist, um auch nur den eigentlichen Sinn einiger Hauptfragen zu erfassen, die sich bei der Entwicklung der Physik während der letzten dreißig Jahre erhoben haben. Wer z. B. zum Verständnis der Relativitätstheorie gelangen will, kann sich der Beschäftigung mit

gewissen erkenntnistheoretischen Fragen gar nicht entziehen. Er muß sich mit den erkenntnistheoretischen Grundlagen der Geometrie und denen der Mechanik vertraut machen und mit der Rolle, die Raum und Zeit dabei spielen; und von der Tiefe, bis zu der er dabei vordringt, hängt es ab, wie weit er die allgemeine Relativitätstheorie und die Gravitationstheorie wirklich versteht. *Wien* selbst macht aus seiner abwartenden Haltung der allgemeinen Relativitätstheorie gegenüber keinen Hehl, aber er stellt auf wenigen Seiten das Wesentliche daran so eindringlich und übersichtlich dar, daß sich jeder, der sich ernsthaft darum bemüht, ein klares Bild nicht nur von ihrem physikalischen Inhalt, sondern auch von ihrer erkenntnistheoretischen Bedeutung verschaffen kann. Von den übrigen den Physiker ganz besonders angehenden Fragen behandelt *Wien* eingehend die erkenntnistheoretischen Grundlagen der statistischen Methoden. Seine Bemerkungen zu der Kontroverse zwischen *Mach* und *Planck* werden viele Physiker erst darüber aufklären, was dieser Meinungsverschiedenheit eigentlich zugrunde lag. Mancher wird sich vielleicht veranlaßt sehen, sich darüber zu unterrichten, was es mit dem Konszientialismus, der Realisierung und dem Satze vom zureichenden Grunde auf sich hat, und mancher sich vielleicht von der Notwendigkeit überzeugen, sich mit der Philosophie überhaupt zu beschäftigen, wenn er *Wiens* eindringliche Darstellung der Bedeutung der Erkenntnistheorie für die Physik — und namentlich für die moderne Physik — liest.

Auch der Vortrag über Physik und Technik ist geeignet, im Sinne einer Revision eingewurzelter Vorurteile zu wirken. Im wesentlichen schildert der Vortrag einige der modernen technischen Errungenschaften, die ohne die Entwicklung der Physik der letzten dreißig Jahre nicht da wären, besonders eingehend die drahtlose Telegraphie mit ihren Methoden und Apparaten, unter diesen letzten z. B. namentlich die Verstärkerröhre, daneben auch zahlreiches andere, anschaulich und leicht verständlich, wenn auch knapp und nur in den Hauptzügen. Aber was dem Vortrage seine besondere Note gibt, das ist das Leitmotiv der Einleitung und des Schlusses: die Klage über den Mangel einer näheren Verbindung zwischen der Technik und der physikalischen Wissenschaft in Deutschland. *Wien* hebt mit Recht hervor, daß es in Amerika anders ist, und erwähnt rühmend das unter *Whitneys* Leitung stehende wissenschaftliche Laboratorium der General Electric Company in Schenectady, an dem ausgezeichnete Physiker wie *Langmuir* und *Coolidge* tätig sind. Und ebenso hat er Recht, wenn er sagt, daß die Untersuchungslaboratorien unserer großen elektrotechnischen Firmen keinen so wissenschaftlichen Charakter haben wie das amerikanische Laboratorium, aus dem zahlreiche rein wissenschaftliche Arbeiten hervorgehen. Aber das allein reicht doch nicht aus, um den Mangel an Verbindung zwischen der Technik und der physikalischen Wissenschaft in Deutschland und das Bestehen dieser Verbindung in den Vereinigten Staaten zu erklären. Der Sinn für die Technik, der technische Geist, ist in Amerika unendlich viel weiter verbreitet und durchdringt den einzelnen dort sehr viel tiefer als bei uns. Zweckmäßigkeitsfragen technischer Natur drängen sich ihm im Alltagsleben viel mehr auf, und für technische Fragen, große oder kleine, interessiert sich daher jeder, um wieviel mehr also der Physiker. Das ist die erste Ursache, die dort eine natürliche Verbindung zwischen dem Physiker und dem Techniker herstellt. Und die Techniker, die von dem Physiker gerade das zu nutzen wissen, was ihnen selber fehlt, lassen den Physiker bereitwillig an ihrer Arbeit teilnehmen. Ganz anders bei uns! *Wien* spricht in dem Vortrage über Physik und Erkenntnistheorie von dem Standpunkt mancher Mathematiker, die die theoretische Physik nicht hoch einschätzen, weil immer nur mit Annäherungen gerechnet werde. Ungefähr das ist der Standpunkt der meisten deutschen Physiker der Technik gegenüber. Sie schätzen die Technik nicht nur nicht hoch ein (weil sie vor allem mit der Empirie rechnet), sie schätzen sie überhaupt nicht als Wissenschaft ein, interessieren sich nur ganz ausnahmsweise dafür und sehen es im allgemeinen als ein Heruntersteigen an, wenn ein Physiker „in die Praxis“ geht. Aber sie bedenken dabei nicht, daß es von jedem selber abhängt, wieviel von wirklicher Wissenschaft er in seine Arbeit hineinträgt, und wieviel er einer bestimmten Aufgabe daran abzugewinnen weiß. Und die Techniker bei uns sehen in dem Physiker meist einen unpraktischen Laboratoriumsgelehrten, dessen Mitwirkung ihre Arbeit nicht wesentlich fördern könne, ohne zu bedenken, daß es zum guten Teil von ihnen selber abhängt, wie weit sie seine auf anderem Gebiet liegenden Kenntnisse und Erfahrungen nutzbar machen können.

Man braucht nicht einmal erst auf Amerika zu verweisen, um zu zeigen, wie oberflächlich derlei Anschauungen sind. Es ist doch wohl nicht nur historisch interessant, daß *Fraunhofer* es war, der die technische der Konstruktion vorausgehende Zeichnung eingeführt hat, und daß dies damals ein *völliges* Novum war, und daß es *Abbe* war, der die optische Industrie auf die von aller Welt bewunderte Höhe gebracht, ja eigentlich überhaupt erst geschaffen hat und dabei in der Zusammenarbeit mit *Schott* noch die Glasindustrie in unvergänglicher Weise befruchtet hat. Seine Theorie der optischen Instrumente hat er nur in der Berührung mit der Praxis und gleichsam nebenher geschaffen. Und als die englischen Telegrapheningenieure *William Thomson* zum Vorsitzenden ihrer Vereinigung wählten, da taten sie es nicht nur in der Absicht, ihrer Gesellschaft ein wissenschaftliches Relief zu geben, sondern vor allem aus dankbarer Anerkennung für das, was er ihnen geleistet hatte. Das und ähnliches mögen die Techniker bedenken, und die deutschen Physiker, die der Technik mit mehr oder weniger Gleichgültigkeit — um nicht zu sagen Abneigung — gegenüberstehen, sollten in den Popular Lectures and Adresses die Rede lesen, in der *William Thomson* bei der Übernahme jenes Vorsitzes (im Jahre 1874) darüber sprach, wieviel Anregung und Bereicherung die Physik der Technik zu verdanken hat. Bei uns in Deutschland fehlt es an dieser Einsicht.

Die Untersuchungslaboratorien der großen elektrotechnischen Firmen — in Frage kommen nur Siemens & Halske und die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft — haben übrigens an wissenschaftlichen Leistungen tatsächlich sehr viel mehr aufzuweisen, als es dem Draußenstehenden scheint. Wenn sie auch keinen so wissenschaftlichen Charakter haben wie das amerikanische Institut, so beweist doch z. B. eine Arbeit wie die Darstellung des Tantals durch *Bolton*, das man bis dahin fast nur vom Hörensagen kannte, daß der wissenschaftliche Sinn des Siemensschen Laboratoriums und derjenigen, von denen es wirtschaftlich abhängt, ernster Prüfung standhält, und wenn *Emil Rathenau* auch die Wissenschaft nur ehrte, soweit sie nützte, so hat er doch *Nernst* volles Verständnis entgegengebracht zu einer Zeit, als auch der opti-

mistischste Amerikaner das dünne Stiftchen, das man mit einem Streichholz anwärmen mußte, und das angeblich eine elektrische Lampe werden sollte, wahrscheinlich als zu wenig aussichtsreich beiseite geschoben haben würde, und er hat große, sogar sehr große Summen zur Entwicklung des Nernstschen Gedankens zur Verfügung gestellt. Manche wertvolle Frucht ist bei der Ausarbeitung der Nernstlampe nebenher gereift und geerntet worden und ebenso bei der Bearbeitung vieler anderer technischer Neuheiten, nur sind sie nicht in der Öffentlichkeit bekannt geworden.

Und hierin, in der Frage der Publikation, liegt ein Stein des Anstoßes, dessen Gewicht man nicht unterschätzen darf. Die Angehörigen des Fabriklaboratoriums und der Fabrik überhaupt dürfen nichts oder so gut wie nichts publizieren, ganz anders als in Amerika, wo man diesen Veröffentlichungen — wenn sie mit dem durch die Fabrikgeheimnisse gebotenen Takt geschehen — mit großer Liberalität gegenübersteht und keine Beeinträchtigung der eigenen Fabrik oder eine Begünstigung einer fremden darin sieht. Hier handelt es sich um eine Frage, die für den Physiker als den Angestellten eines technischen Unternehmens von größter Wichtigkeit ist. Eine große Menge wissenschaftlicher Arbeit, die in den Fabriklaboratorien geleistet werden könnte, unterbleibt bei uns zum guten Teil deswegen, weil die Publikationsmöglichkeit fehlt, und die Unmöglichkeit oder doch die Schwierigkeit, zu publizieren, hält naturgemäß auch die Physiker davon ab, in die Praxis zu gehen, wenn nicht Erwerbsgründe sie dazu zwingen. Andererseits geht durch diesen Mangel der Publikationsmöglichkeit der physikalischen Wissenschaft viel Anregung verloren, die den physikalischen Instituten der Universität und der Technischen Hochschulen wertvoll werden, und die die Physiker schon während ihrer Studienzeit zur Technik in Beziehung bringen würde. Die Beschränkung der Publikationsmöglichkeit verhindert auch das Zustandekommen einer ernst zu nehmenden physikalisch-technischen Literatur von wirklich Zuständigen, weil selber in der Praxis stehenden Verfassern. Daß hier eine Lücke auszufüllen bleibt, kann niemand bestreiten. Die Lehrbücher der Experimentalphysik haben andere Aufgaben zu erfüllen und können die technischen Anwendungen der Physik im besten Falle nur streifen — schon genug, wenn sie das tun, ohne Fehler dabei zu machen. Es ist auch Sache der Techniker, sie auszufüllen, nicht der Physiker, denn ein Physiker, der nicht in der Praxis steht, kann die Bedürfnisse der Praxis gar nicht kennen. Wenn er sich trotzdem an eine solche Aufgabe wagt, kann er immer nur ein ganz unzulängliches Buch schreiben. Die Schaffung einer von wirklich zuständiger Seite kommenden physikalisch-technischen Literatur, die für die Physiker bestimmt ist, würde für die Herstellung der erforderlichen Verbindung zwischen der Technik und der physikalischen Wissenschaft unschätzbare Dienste leisten.

Doch zurück zu *Wiens* Vorträgen. Eine besonders wertvolle Zugabe der Buchausgabe bilden die Anmerkungen mit ihrer großen Fülle von Literaturangaben, von historischen und sonstigen erläuternden Bemerkungen größeren und kleineren Umfanges und von Exkursen, wie z. B. über Statistik, über die Relativitätstheorie und über die Quantentheorie. So anregend und belehrend die Vorträge selber sind, so sind es auch die Anmerkungen.

Wenn die Vorträge die Verbreitung finden, die sie verdienen, so erscheinen sie bald in einer neuen Auflage. Dann aber hoffentlich vermehrt um einen Vortrag über das, was die Physik der Technik an Anregung und an Unterstützung zu danken hat, ein Thema, das bei weitem noch nicht die gebührende Berücksichtigung gefunden hat und dessen Behandlung viel dazu beitragen kann, die Verbindung zwischen den Physikern und den Technikern zu fördern und zu festigen. *A. Berliner, Berlin.*

Zuschriften an die Herausgeber.

Den *Demoll*schen Äußerungen (Heft 27, Seite 480, des laufenden Jahrganges) möchte ich folgende Bemerkungen anschließen:

1. Es lag mir fern den *Spatzen* als *Typus* aufzufassen, denn mir ist als Beobachter der Natur bekannt, daß der Spatz im Vergleich zu Schwalben oder Möven sehr unbeholfen fliegt. Ich konnte jedoch in meiner vorhergehenden Arbeit nur diesen Vogel zum Vergleich heranziehen, da in den Demollschen Tabellen 1 und 2 für den Spatzen als *einzigen Vogel alle* Vergleichswerte, nämlich Flügelfläche, Gewicht und Geschwindigkeit vollständig zu finden waren.

2. *Demoll* glaubt den Nachweis erbringen zu können, daß zwischen der *Flugmechanik* der Insekten mit schnellem Flügelschlag (Schwirrflug), derjenigen der Vögel mit langsamem Flügelschlag und derjenigen der Flugzeuge mit stillstehenden Flügeln *wesentliche* Unterschiede bestehen.

Aus den Demollschen Versuchen geht für mich hervor, wie ich dies schon in meinem ersten Aufsatze sagte, *„daß die Insekten ihre Flügel aerodynamisch in ähnlicher Weise ausnutzen wie die Vögel und*

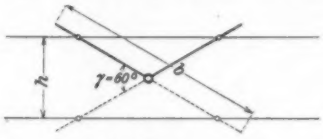

Fig. 1.

Flugzeuge“. Demoll brachte an der erwähnten Stelle neues Material, das zunächst dagegen zu sprechen schien, was jedoch nachher diese Auffassung bestätigt.

Bei der Berechnung der c_a-Werte wurde die *wagerechte* Geschwindigkeit des Tieres zugrunde gelegt. Dies ist jedoch nur so lange angenähert zulässig, als die Länge der Bahnkurve der Flügel von der Flugstrecke nicht wesentlich verschieden ist. Für Tiere mit *kleiner Geschwindigkeit* und *hohem Flügelschlag* lassen sich *Unterschiede* zwischen der *Flügelbahngeschwindigkeit* u msec^{-1} und der *Fluggeschwindigkeit* v msec^{-1} feststellen, die von Einfluß auf die Bewertung von c_a sind.

Verfolgt man die Bahnkurve eines Flügels, so erhält man eine Wellenlinie, deren Höhe h (m) von der Spannweite b (m) der Flügel, dem Schlagwinkel γ und der Lage des Auftriebsmittelpunktes auf dem Flügel abhängig ist. Folgende, von der Wirklichkeit voraussichtlich nicht zu weit entfernte Annahmen seien zugrunde gelegt.

In Fig. 1 ist die Ansicht eines Tieres mit schlagenden Flügeln wiedergegeben. Der Schlagwinkel γ ist mit 60° bemessen. Der Auftriebsmittelpunkt ist in $^1/_3$ Spannweite von der Flügelspitze angenommen. Damit wird

$$h = \frac{b}{3} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1$$

Da mir ferner Angaben über Flügelbreite[1]) und Flügeltiefe nicht zugänglich sind, nehme ich vereinfachend ein Verhältnis dieser beiden Strecken von 4 : 1 an. Hiermit läßt sich die Flügelfläche F (m^2) ausdrücken:

$$F = \frac{b^2}{4} = \frac{9}{4} h^2 \quad \ldots\ldots\ldots (2$$

Da die Werte für F bekannt sind, kann somit geschrieben werden

$$h = \frac{2}{3}\sqrt{F} \quad \ldots\ldots\ldots (3$$

Welche Gestalt die von den Flügeln beschriebene Wellenlinie besitzt, ist unbekannt. Für die vorliegende Betrachtung wird der Einfachheit halber eine einfache leicht zu rektifizierende Näherungskurve angenommen. Die Flügelbahngeschwindigkeit u zur Fluggeschwindigkeit v lassen sich dann für vorliegende Betrachtung genau genug durch den Ausdruck

$$u = v\left[1 + 4\left(\frac{h \cdot n}{2 \cdot v}\right)^{1,6}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (4$$

miteinander verbinden, wenn n (sec^{-1}) die sekundliche Anzahl der vollen Flügelschwingungen bedeutet. Die Gleichungen (3) und (4) werden miteinander:

$$\left.\begin{aligned} u &= v\left[1 + 4\left(\frac{\frac{2}{3}\sqrt{F} \cdot n}{2 \cdot v}\right)^{1,6}\right] \\ &= v\left[1 + 4\left(\frac{\sqrt{F} \cdot n}{3 \cdot v}\right)^{1,6}\right] \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (5$$

Da für die genaue Berechnung des c_a-Wertes die Geschwindigkeit u an Stelle der Geschwindigkeit v zu treten hat, sind die im früheren Aufsatz gefundenen c_a-Werte um das Verhältnis v^2/u^2 zu reduzieren.

In folgender *Tabelle* sind für einige Insekten mit schnellem Flügelschlag die Geschwindigkeiten u und mit ihnen die neuen Werte c_a errechnet.

sagen, daß der Schlagwinkel mit 60° gering bemessen ist, wahrscheinlich wird er bis 90° hinaufgehen. Ferner sind das Verhältnis Flügelbreite und Flügeltiefe wie 4 : 1 und die Lage des Auftriebsmittelpunktes in $^1/_6$ der Flügelbreite von der Flügelspitze nicht zu hoch angenommen. Auch ist die Flügelbahngeschwindigkeit gleichförmig vorausgesetzt, was sie sicher nicht sein wird. Aus allen diesen Einschränkungen dürften größere u^2 und damit noch kleinere Werte von c_a zu erwarten sein. Für die vorliegenden Zwecke genügen jedoch, da es nicht auf absolute, sondern relative Werte ankommt, die erzielten Ergebnisse.

Da die Flügel während ihrer Schlagbewegung zwecks Hervorrufung verschiedener Wirkung beim Auf- und Abschlag von den Tieren gedreht werden, müssen auch die c_a-Werte entsprechend der Änderung der Anstellwinkel wechseln. Die zum Vergleich herangezogenen c_a-Werte stellen deshalb nur einen *mittleren* Wert dar.

3. Der nicht fachkundige Leser wird es begrüßen, wenn auf den Bereich der technischen c_a-Werte eingegangen wird. Der c_a-Wert wächst mit dem Anstellwinkel von null bis zu Größtwerten, welche bei ausgesuchten Profilen etwa den Wert $c_a = 1{,}8$ erreichen. Bei Böen, schnellem Übergang in den Gleitflug und anderen Bewegungen kann er sogar negativ werden. *Daraus folgt, daß alle mit Benutzung der Demollschen Angaben errechneten c_a-Werte im Bereich der technischen liegen.*

4. *Demoll* führt die sehr geringen c_a-Werte des *Mauerseglers* und der *Möve* an.

Diese sind aus folgendem Grunde *unwahrscheinlich klein.*

In der von Professor *Prandtl* geleiteten *Göttinger Modellversuchsanstalt* sind Hunderte von technischen

	n sec^{-1}	F cm_2	v $msec^{-1}$	u $msec^{-1}$	$\frac{v^2}{u^2}$	c_a alt	c_a neu
Honigbiene	200	0,90	3,7	4,57	0,652	0,871	0,567
Schlammfliege	190	0,66	2,7	3,46	0,608	2,930	1,780
Schmeißfliege	180	1,18	2,7	4,13	0,428	1,205	0,516
Stubenfliege	190	0,31	2,15	2,63	0,668	1,285	0,860

Aus der Tabelle geht hervor, daß durch die *Berücksichtigung der wellenförmigen Bewegung der Flügel bei der Berechnung der c_a-Werte diese um fast die Hälfte geringer werden*, ein Umstand, der die früher aus dem Bereich der technischen herausfallenden c_a-Werte in diesen zurückführt und die Behauptung unterstützt, daß es nicht statthaft ist, grundsätzliche Unterschiede zwischen der aerodynamischen Ausnutzung der Flügel der Insekten, der Vögel und der Flugzeuge zu machen. Selbstverständlich sollen damit nicht die *offensichtlichen* Unterschiede, wie Flug mit schnellem, langsamem und fehlendem Flügelschlag geleugnet, doch gesagt werden, daß dieselben aerodynamischen Betrachtungsweisen, die sich beim Flugzeug bewährt haben, bis hinunter zum kleinen Insekt anwendbar zu sein scheinen.

Man mag den vorstehenden Betrachtungen *entgegen* halten, daß manche Annahme *nicht genügend* durch *Messung* oder *Versuch* gestützt ist. Hierzu ist zu sagen, daß Flügelprofilen in Modellausführungen auf ihr aerodynamisches Verhalten geprüft worden. Diese Modellflügel sind von derselben Größenordnung wie die Flügel der erwähnten Vögel und sind auch bei den Fluggeschwindigkeiten der Vögel gemessen worden, so daß Unterschiede zwischen Modell- und natürlichem Vogelflügel nur insofern in Frage kommen dürften, als jene künstlich, diese jedoch natürlich glatt sind, was jedoch erfahrungsgemäß einen Vorteil im Luftwiderstand für den Vogelflügel kaum bringen wird.

Jedem Auftriebsbeiwert c_a entspricht ein Widerstandsbeiwert c_w, der durch folgende Formel bestimmt ist:

$$W = \frac{\gamma}{2g} c_w \cdot F \cdot v^2 \quad \ldots\ldots\ldots (6$$

worin W (kg) den Widerstand der Flügel bedeutet.

Die sekundlich für den Flug aufzubringende Leistung L ($kgmsec^{-1}$) ist

$$L = W \cdot v = \frac{\gamma}{2g} c_w \cdot F \cdot v^3 \quad \ldots\ldots\ldots (7$$

Die Formel für den Auftrieb war

$$A = \frac{\gamma}{2g} \cdot c_a \cdot F \cdot v^2 \quad \ldots\ldots\ldots (8$$

[1]) Die Ausdrücke „Flügelbreite" und „Flügeltiefe" sind in der in der Flugzeugtechnik üblichen Weise gebraucht.

Die Gleichungen (7) und (8) miteinander verbunden, ergeben

$$\frac{A}{L} = \frac{1}{v} \cdot \frac{c_a}{c_w}.$$

Die kleinsten Werte für c_w, die an künstlich hergestellten Flügeln gemessen worden sind, liegen etwa bei

$$c_w = 0{,}02.$$

In diesen Werten ist jedoch noch kein *schädlicher Widerstand* enthalten, wie er bei einem Vogel durch Rumpf und Schwanzgefieder zum Flügelwiderstand hinzukommt. Dieser technisch kleinste Wert, der zudem nicht gleichzeitig mit dem Bestwert von c_a auftritt, wird für den Mauersegler und die Möve nur in seinem halben Betrage als gültig angenommen, d. h. in anderen Worten, die nicht experimentell festgestellten Widerstände von Möve und Mauersegler werden in bezug auf Luftwiderstand mit Halbwert des günstigsten künstlichen Profils gleichgesetzt. Geschieht dies, so erhält man, wenn für beide Vögel ein mittlerer Wert $c_a = 0{,}0087$ (vergl. die Demollsche Tabelle Seite 481, oben rechts) und die Geschwindigkeit v gleich 62 msec^{-1} eingesetzt wird

$$\frac{A}{L} = \frac{0{,}0087}{0{,}01} \cdot \frac{1}{62} = 0{,}014 \ \frac{\text{kg}}{\text{kgmsec}^{-1}};$$

in Worten ausgedrückt: 14 g Tiergewicht leistet im wagerechten Flug 1 kgmsec^{-1}, oder in einem anderen Maßsystem 1,05 kg Tiergewicht leistet 1 PS! Als Vergleich möge dienen, daß man bei den besten Flugzeugen 4 bis 5 kg Gewicht für 1 PS erreicht hat[1])!

Auf Grund dieser der Technik entnommenen Betrachtungen erscheinen die für den Mauersegler und die Möve gegebenen c_a-Werte viel zu klein.

Vermutlich ist bei *Spill* die Geschwindigkeit v unrichtig ermittelt worden. 62 m/sec entsprechen 223,2 km/h, einer Geschwindigkeit, die bei Flugzeugen im wagerechten Flug sehr selten, sonst nur bei scharfem Gleitflug erzielt worden ist. Sie muß für Vögel viel zu hoch sein, was auch dadurch bestätigt wird, daß mancher Flugzeugführer schon Jagd auf einen König der Lüfte gemacht und diesen eingeholt hat.

Bei den Messungen der Vogelgeschwindigkeiten müssen entweder Fehler durch Nichtberücksichtigung der Windströmung oder durch Nichteinhaltung der Flughöhe gemacht worden sein, Fehlerquellen, gegen die in der Flugtechnik ebenfalls immer wieder angekämpft werden muß, da schon eine schwache Bahneigung genügt, um erhebliche Geschwindigkeitsunterschiede hervorzurufen.

5. Im letzten Abschnitt berichtigt *Demoll* seine Ausführungen, daß der *„segelnde"* Vogel auf der Luft *liegt* und das Insekt *hängt*. *Demoll* sagt in seinem Buch jedoch weiter, *„jener* (der segelnde Vogel) *wird von der Luft getragen durch Vermehrung des Druckes von unten, dieses* (das Insekt) *wird von der Luft angesaugt durch Verminderung des Druckes von oben"* und gibt eine bildliche Darstellung, in welcher der wesentliche Unterschied erläutert wird. Diesen Schlüssen kann nicht zugestimmt werden.

Aus der am *Standversuch* gewonnenen Beobachtung, daß hinter Schlagflügeln sich ein dem Luftschraubenstrahl ähnlicher Strahl entwickelt, dürfen wir wohl schließen, daß auch im *Flug* ähnliche Verhältnisse entstehen werden. Bei der Luftschraube in Fahrt fließt aber die Luft nicht mehr von allen Seiten zu, sondern nur noch von vorn und in von vorn geneigten Richtungen. Das würde für das Tier mit Schlagflügeln heißen, daß die Luft beim Fluge gerade aus nicht mehr von oben, sondern ebenfalls von vorn und seitlich vorn zufließt, daß also die Demollsche Abb. 10 a nicht mehr zutrifft. Ich habe in meinem vorigen Aufsatz Versuche angeregt, welche diese Mutmaßung klären würden.

Man wird zu untersuchen haben, inwieweit die Luftzusammenziehung bei Vögeln und Insekten infolge der Schlagbewegung ihrer Flügel die Strömungserscheinungen um die Flügel beeinflußt. Die Vermutung liegt nahe, daß ihr Einfluß nicht größer sein wird als der einer Luftschraube auf die Tragdecken eines Flugzeuges. Dort wird er vernachlässigt. Wahrscheinlich wird aber die Beeinflussung der Strömung bei Tieren mit schnellem Flügelschlag größer sein als diejenige mit langsamem Flügelschlag.

6. Je höher der c_a-Wert liegt, desto näher ist die Grenze der Tragfähigkeit. Trotz der Reduktion der c_a-Werte in Abschnitt 4 behalten die Insekten noch immer hohe c_a-Werte, sie müssen demnach als hochbelastete Flieger angesehen werden.

Die c_a-Werte der Vögel liegen allgemein wesentlich tiefer, was folgt daraus? Sie können ihre Flügel, sofern es die Festigkeit ihres Knochengerüstes zuläßt, wesentlich mehr, als es im wagerechten Flug notwendig ist, belasten. Die engen Kurven der Schwalben und ähnliche Flugbewegungen, bei welchen außer der Schwerkraft beträchtliche Fliehkräfte an den Flügeln aufzunehmen sind, werden dadurch ermöglicht. Erst durch den großen Bereich der ihnen zur Verfügung stehenden Auftriebsmittel werden sie die ausgezeichneten Flieger, als die wir sie kennen.

7. Wenn der Seitenweg eines Flugzeugtechnikers in die Zoologie den Erfolg haben sollte, daß beim Studium des Tierfluges in Zukunft die Aerodynamik voll und ganz zu ihrem Recht kommen wird, würde dies sicher für das gegenseitige Verständnis fördernd sein. Notwendig ist aber dann, daß möglichst viele

---

[1]) Zum Vergleich mögen folgende, auf Grund von mir befreundete Seiten zugänglich gemachten Angaben, angestellten Rechnungen dienen:

Ein schwer arbeitender Mensch von etwa 70 kg Körpergewicht verbraucht täglich etwa 4500 bis 5000 Calorien, welche Wärmemenge mit 1 920 000 bis 2 135 000 kgm gleichbedeutend ist. Bei gutem Training und günstigen Bedingungen vermag derselbe einen Nutzen von 25 bis 30 % zu erzielen. Seine tägliche Gesamtarbeit würde demnach 480 000 bis 712 000 kgm betragen und bei einem 8-stündigen Arbeitstag einer Leistung von etwa 16,6 bis 25 kgmsec^{-1} bzw. $\frac{1}{4{,}5}$ bis $\frac{1}{8}$ PS entsprechen.

Auf vorliegende Betrachtung angewendet: Mit 315 bis 210 kg Körpergewicht wird 1 PS geleistet.

Diese Beträge sind von rund 250-facher Größe wie diejenigen, welche aus der Leistungsbetrachtung des Mauerseglers bzw. der Möwe gewonnen worden sind.

Rechnet man dagegen nach Angaben von *A. Pütter, Vergleichende Physiologie*, Jena, Fischer 1911, S. 479 bis 481, für eine Taube eine ausgezeichnete Leistung von $\frac{L}{A} = 1{,}7 \ \frac{\text{kgmsec}^{-1}}{\text{kg}}$ und eine recht hohe Fluggeschwindigkeit von 20 msec^{-1} (für Möven führt *Thienemann*, der Leiter der Vogelwarte Rositten, nur etwa 14 msec^{-1} an, vergl. *Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Königsberg 1910*), so ergibt sich ein Verhältnis $\frac{c_a}{c_w} = \frac{20}{1{,}7} = 11{,}8$, welches durchaus im Bereich der technisch möglichen Werte liegt. Mit *Pütter* würde also eine Taube auf 590 g Tiergewicht 1 kgmsec^{-1} leisten können, während mit *Demoll* nur etwa der 40. Teil, nämlich 14 g Tiergewicht, für die gleiche Leistung errechnet worden war.

Flugbeobachtungen an der Tierwelt mit den neueren Forschungsergebnissen der Aerodynamik verglichen und mit deren Mitteln gedeutet werden.

Berlin-Adlershof, den 28. April 1919.

Dr.-Ing. *Wilh. Hoff.*

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Die Tätigkeit des Deutschen Ausschusses für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht seit dem Jahre 1914. Während des Krieges hat der Deutsche Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (Damnu) nur zwei Gesamtsitzungen abgehalten, die erste am 3. Oktober 1914 zu Berlin, die zweite am 22. Mai 1918 zu Göttingen. In der Zwischenzeit fanden wiederholt Sitzungen der geschäftsführenden Kommission statt, deren Ergebnisse in einer Reihe weiter unten anzuführender Schriften niedergelegt sind.

In der ersten Gesamtsitzung, an der auch ein Vertreter des preußischen Unterrichtsministeriums teilnahm, stand als wichtigste Angelegenheit der damals bekannt gegebene Entwurf einer neuen preußischen Prüfungsordnung für Oberlehrer zur Verhandlung. Schon an diesem Entwurf hatte der Damnu durch Vorschläge bezüglich der von ihm vertretenen Lehrfächer in nicht unerheblichem Maße mitgearbeitet. Es handelte sich nunmehr hauptsächlich noch um die Frage, welche Bedeutung den auch vom Damnu empfohlenen Zusatzfächern, der angewandten Mathematik und der Mineralogie nebst Geologie, zuzuerkennen sei. Es wurde befürwortet, daß diese Fächer an Stelle eines Nebenfaches treten sollten, daß also von der Prüfung in einem Nebenfach abgesehen werden könne, wenn der Kandidat in einem Zusatzfach die Prüfung bestehe. Weitere Beschlüsse betrafen die bei verschiedenen Fächern zu erbringenden Nachweise von Hilfskenntnissen und praktischen Fähigkeiten, so des Zeichnens und des numerischen Rechnens für die Mathematik; ferner mineralogischer und geologischer Kenntnisse für die Oberstufe der Lehrbefähigung in Chemie. Weiterer Gegenstand der Beratung war der Anteil der Mathematik und der Naturwissenschaften an der Jugendpflege und an der militärischen Vorbereitung der Jugend. Im Anschluß daran sind von einigen Mitgliedern des Damnu Aufsätze in der Tagespresse veröffentlicht worden.

Die zweite von Mitgliedern nur schwach besuchte Gesamtsitzung in Göttingen fand unter lebhafter Beteiligung von Professoren der Universität statt. Es handelte sich an erster Stelle um die Frage, wie nach dem Kriege der Zustrom der Studierenden zu bewältigen sein werde. Es wurde eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Ebenso brennend war die andere zur Erörterung stehende Frage über die Zukunft des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Während nach den Erfahrungen des Krieges eine erhöhte Wertschätzung unserer Fächer hätte erwartet werden sollen, haben sich im Gegenteil Bestrebungen geltend gemacht, die auf eine Verkürzung dieser Fächer an unseren höheren Schulen hinzielen. Über die demgegenüber zu ergreifenden Maßnahmen wurde eine eingehende Beratung abgehalten, in der die Herren *Poske* und *von Hanstein* über eine auf Naturwissenschaften bezügliche Schrift, Herr *Wagner* über eine solche bezüglich der Erdkunde nähere Mitteilung machten. Hierbei wurde namentlich auch die Stellung der Geologie an den höheren Schulen erörtert.

Als zweite Folge der Schriften des Damnu sind im Verlag von B. G. Teubner seit dem Jahre 1914 die folgenden erschienen:

Heft 1. *Die Erziehung zur Schule.* Von *A. Czerny.* 1916 (18 S.). Die Schrift geht davon aus, daß der häuslichen Erziehung die große Aufgabe zufällt, die Kinder für die Schule zweckmäßig vorzubereiten und während der Schulzeit günstig zu beeinflussen. Der Verfasser tritt vom Standpunkt des Mediziners dafür ein, die Kinder nicht in schrankenloser Freiheit aufwachsen zu lassen, sondern sie zur Anpassung an die Bedingungen ihres künftigen Daseins, zur Ausdauer auch bei ihrer spielenden Beschäftigung, zum Pflichtbewußtsein, zum Gemeinschaftssinn zu erziehen, geistige Überbürdung aber zu vermeiden und dafür zu sorgen, daß sie mit freudiger Erwartung und Zuversicht in die Schule eintreten.

Heft 2. *Die Aufgaben der Sexualpädagogik.* Von *H. Timerding.* 1916 (20 S.). Das Heft gibt einen Bericht über die Verhandlungen einer Gruppe von Medizinern und Schulmännern, die im Ingenieurhause zu Berlin am 6. Mai 1916 stattgefunden hat, und zu der die damaligen Verhandlungen des Herrenhauses über Maßnahmen zur Bekämpfung der sexuellen Mißstände (Antrag *v. Bissing*) den Anlaß gegeben hatten. Es konnte dabei auf Verhandlungen der Unterrichtskommission deutscher Naturforscher und Ärzte aus den Jahren 1905 und 1906 zurückgegriffen werden. Von den Mitgliedern des Ausschusses wurde erneut die Wichtigkeit einer dem abgehenden Schüler zu erteilenden Belehrung betont, womit nicht nur der Biologe, sondern je nach Umständen ein Arzt oder der Direktor der Anstalt zu betrauen sei. In einer Eingabe an den Kultusminister vom 15. Mai 1916 wurde gleichfalls der Wert einer derartigen Einwirkung betont. Auch wurde in den Verhandlungen darauf hingewiesen, wie wichtig ein für alle Schüler verbindlicher biologischer Unterricht in den oberen Klassen auch im Hinblick auf diese Frage, wie überhaupt auf hygienische Unterweisung sein kann.

Heft 3. *Sexuelle Erziehung im Lehrerseminar.* Von *P. Brohmer.* 1917 (28 S.). In dem vorher erwähnten Antrag *v. Bissing* war auch eine stärkere Berücksichtigung der Sexualpädagogik an den Lehrerseminaren gefordert worden. Der Verfasser der Schrift legt eingehend den vorbereitenden biologischen Unterrichtsstoff dar, geht aber auch auf den Anteil der anderen Lehrfächer an dieser Erziehungsaufgabe ein und betont andererseits mit Entschiedenheit, daß das Wissen allein nicht vor den Gefahren schütze, daß vielmehr grundlegend immer die Festigung des Willens bleiben müsse.

Heft 4. *Der mathematische Unterricht an den höheren Knabenschulen nach dem Kriege.* Von *H. E. Timerding.* 1918 (22 S.). Den äußeren Anlaß zu dieser Schrift gab eine Reise der Herren Prof. Dr. *Gutzmer* und Oberrealschuldirektor Dr. *Lietzmann* an die Front und nach den Ausbildungsstätten der Armee und Marine zum Studium der Verwendung mathematischer Hilfsmittel bei der Kriegführung. Die Göttinger Vereinigung für angewandte Physik und Mathematik hatte in einer Entschließung vom 17. November 1917 ihrer Überzeugung von der durch den Krieg erwiesenen Bedeutung der exakt-wissenschaftlichen Fächer und die daraus für das Schulwesen zu ziehenden Folgerungen

zum Ausdruck gebracht. Der Damnu schloß sich in einer „grundsätzlichen Äußerung" der Entschließung der Göttinger Vereinigung an, indem er als hauptsächlichste Erziehungswerte der Mathematik die logische Schulung, die Ausbildung der räumlichen Anschauung und die Entwicklung des Zahlensinns bezeichnete. Im einzelnen erneuerte er die Forderung, daß an den Gymnasien die Einschränkung der Stundenzahl in den Tertien der Gymnasien wegfallen müsse, und daß an den Realanstalten eine Stunde des bisher wahlfreien Linearzeichnens als pflichtmäßiges geometrisches Zeichnen dem mathematischen Unterricht zuzulegen sei. Der Verfasser knüpft hieran weitere Ausführungen darüber, daß ein gewisses Maß mathematischer Erziehung nicht nur für bestimmte Klassen unseres Volkes, sondern für alle Kreise der Bevölkerung und für alle Stufen der Erziehung von Wert sei. Er verteidigt den mathematischen Unterricht gegen die ihm drohende Gefahr der Zurückdrängung durch andere, namentlich die sogenannten Gesinnungsfächer, lenkt ihn aber andererseits auf die Ausbildung der Grundfähigkeiten zur Erfassung der Wirklichkeit als seine wesentlichste Aufgabe hin und macht seine Wirkung in diesem Sinne davon abhängig, daß ihm die erforderliche Zeit zur Verfügung stehe. Eine besondere Betrachtung widmet er der Frage der Lehrerfortbildung, wofür er u. a. auch die neuerdings ins Leben gerufenen Universitätsbünde herangezogen zu sehen wünscht.

Heft 5. *Der naturwissenschaftliche Unterricht an den höheren Schulen.* Von *F. Poske* und *R. von Hanstein.* 1918 (33 S.). Die Schrift behandelt einleitend die Bedeutung der Naturwissenschaften im allgemeinen und ihre Stellung an den höheren Schulen. Sie erblickt die Eigenart des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Schulung des Wirklichkeitssinns. Sie gibt der Überzeugung des Deutschen Ausschusses Ausdruck, daß das Übermaß des fremdsprachlichen Unterrichts an den höheren Schulen beseitigt werden müsse, damit dem naturwissenschaftlichen Unterricht zugleich mit dem mathematischen und erdkundlichen die Zeit zur Verfügung gestellt werden könne, deren er zur Erfüllung der wichtigen, ihm im ganzen als Jugenderziehung obliegenden Aufgaben bedürfe. Insbesondere fordert die Schrift von neuem ein bescheidenes Maß chemischer und biologischer Unterweisung auf der Oberstufe des Gymnasiums. Des weiteren bringt die Schrift Ausführungen über den physikalischen, den chemischen und den biologischen Unterricht, wobei auch die Bedeutung der Mineralogie und Geologie gewürdigt wird. In einem Schlußabschnitt wird betont, daß bei aller Pflege der einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer doch die Einheit des Gesamtgebiets der Naturforschung nicht verloren gehen dürfe, und daß durch geeignete Gestaltung der Lehrpläne auch hierfür Sorge zu treffen sei. Gestreift wird endlich auch die Frage der Lehrerfortbildung, wofür namentlich praktische Kurse als geeignet anzusehen sind, für die Physiker solche in technischer Mechanik, Lehre von der Wärme, Kraftmaschinen und Elektrotechnik, für den Chemiker in physikalischer Chemie und Technologie, für den Biologen und Geologen Exkursionsübungen. Engere Beziehungen zwischen den Kreisen der Hochschullehrer und der Oberlehrer wurden als überaus wünschenswert bezeichnet.

Heft 6. *Die Stellung der Erdkunde im Rahmen der Allgemeinbildung;* von *Paul Wagner.* Die im Einverständnis mit Herrn *A. Penck* verfaßte Schrift legt die Bedeutung der Erdkunde als Bildungsfach dar. Erdkunde sei für ein Volk, das Weltwirtschaft treiben will, schlechthin unentbehrlich. Sie nehme eine Mittelstellung zwischen Erziehungs- und Geisteswissenschaften ein. Ihr erziehlicher Wert liege einerseits in der Schärfung der Sinne zu besserer Auffassung der Wirklichkeit, anderseits in der politischen Schulung, die sie gewährt. Gefordert wird, daß die erdkundlichen Grundvorstellungen durch Naturanschauung, namentlich durch Exkursionen, erworben werden, daß die Erdkunde in allen Klassen aller Schulgattungen mit 2 Std. betrieben werde, daß sie in der Reifeprüfung genau so wie die Geschichte bewertet werde, und daß sie nur von gründlich ausgebildeten Fachlehrern unterrichtet werde. Auch werden Fortbildungskurse und Gewährung von Urlaub für Studienreisen empfohlen. Schließlich wird von den Zielen des erdkundlichen Unterrichts im Anschlusse an die Beschlüsse der deutschen Geographentage eine kurze Übersicht gegeben. —

Über die Stellungnahme des deutschen Ausschusses zu den neuesten Fragen der Unterrichtsreform und der Einheitsschule soll demnächst besonders berichtet werden. *F. Poske.*

Über verschiedene Umbildungsreihen in der Entwicklung von Fastebenen. Nach *W. M. Davis* entwickelt sich die Oberflächengestaltung eines gehobenen Erdrindenstückes mit wenig entwickeltem Relief in der Weise, daß die entstehenden Flußläufe zuerst Schluchten ausnagen, dann dieselben auf Kosten der dazwischen stehenden Landstücke verbreitern, indem die letzteren allmählich in Kämme umgewandelt werden. Nachdem die Landschaft durch ein reifes Stadium starker Oberflächengliederung hindurchgegangen ist, beginnt sie zu altern, die Täler werden flacher, die Kämme immer niedriger, und das Endergebnis ist ein Relief mit sehr geringen Höhenunterschieden, eine „Fastebene". Solche Fastebenen, die dem unteren Abtragungsniveau entsprechen und also ungefähr im Niveau des Meeresspiegels liegen müssen, können gehoben werden und müssen dann dieselbe Entwicklung noch einmal durchlaufen. Sie werden dabei durch Flußläufe zerschnitten und können sich schließlich nur noch in Streifen und Stücken erhalten, die im weiteren Verlauf des Abtragungsprozesses ganz verloren gehen. Solche gehobenen Fastebenen bilden die Hochflächen unserer Rumpfgebirge, z. B. des Rheinischen Schiefergebirges, des Harzes. Die Davissche Fastebenentheorie hat viele Anhänger, aber auch Gegner gefunden. Letztere betonten besonders, daß die unveränderte Lage eines Erdrindenstückes, die notwendig ist, wenn dieser Abtragungsprozeß sich ungestört bis zu seinem Ende auswirken soll, und die durch geologische Epochen hindurch die gleiche bleiben muß, kaum möglich sei. Hebungen und Senkungen seien eine viel zu allgemeine Erscheinung, als daß man die unverrückbar feste Lage einer Landschaft zum Meeresspiegel für so lange Zeiträume annehmen dürfte. Aber die Existenz von Rumpfflächen läßt sich nicht leugnen, und in den meisten Fällen ist es ganz ausgeschlossen, ihre Entstehung auf die abradierende Wirkung eines vordringenden Meeres zurückzuführen. So erscheint den meisten Geologen und Geographen die Davissche Erklärung für die Entstehung der Fastebenen als die beste, womit aber nicht gesagt sein soll, daß sie bereits vollkommen befriedigte. Im Gegenteil, sie bedarf weiterer Ausgestaltung und Vertiefung. Man erkennt dies aufs deutlichste daraus, daß es *Albr. Penck* gelungen ist, eine sehr wesentliche Schwäche der Davisschen Theorie aufzudecken und nachzuweisen, daß sie einen wichtigen Abschnitt der Oberflächenentwicklung

vollständig übersehen hat: denjenigen, der in die Zeit der Hebung fällt[1]).

Davis geht bei seinen Betrachtungen von einer gehobenen Urform aus. Er verfolgt die Umgestaltung einer Landschaft, die am Anfang bereits in einem mehr oder weniger beträchtlichen Niveau über dem Meeresspiegel liegt. Aber er vergißt, daß eine Fastebene nicht gehoben werden kann, ohne daß auch sofort die zerstörenden Kräfte in Tätigkeit treten. Sie warten nicht erst ruhig ab, bis die Hebung ihr Ziel erreicht hat und fangen dann an zu modellieren, sondern sie beginnen sogleich ihr Werk, das darauf hinarbeitet, das Gefälle der Flüsse auszugleichen. Wenn die Hebung aufhört, ist der Erosionsprozeß daher vielleicht schon sehr weit vorgeschritten.

Noch eine weitere bedeutungsvolle Bedingung für den Verlauf und die Art der Abtragung stellt *Penck* ins rechte Licht: die Intensität und Dauer der Hebung. Es ist durchaus nicht ohne Einfluß auf die Entwicklung der Oberflächenformen, ob die ursprüngliche Ebene rasch oder langsam, ob sie stark oder schwach gehoben wird, oder ob sogar Perioden schwacher und starker Hebung aufeinander folgen. Weit entfernt davon, dem schematischen Hergang zu entsprechen, den die Davissche Theorie angenommen hat, schlägt der Verlauf der Abtragung vielmehr mannigfaltige und verschlungene Wege ein.

Penck unterscheidet drei Umbildungsreihen, die von einer ursprünglichen Ebene durch Abtragungsformen zu einer Rumpffläche führen.

Die erste ist diejenige, die durch eine starke, lang anhaltende Hebung gekennzeichnet wird. Während derselben schneiden die Wasserläufe rasch ihre Täler ein. Aber sie können sich nicht so schnell einsägen, wie das Land emporsteigt, und ihre Sohlen steigen auf, obwohl sie immer tiefer gelegt werden. Der Niveauunterschied zwischen den Talsohlen und den zwischen den Tälern stehen bleibenden Riedelflächen wird immer größer. Waren die Täler anfangs Schluchten mit steilen Wänden, so wachsen nun ihre Gehänge nach den Seiten, bis die Flächen zwischen ihnen verschwinden und die Talgehänge der Nachbartäler sich in scharfen Schneiden mit übersteilen Hängen treffen. Von nun an vergrößert sich der Niveauunterschied zwischen Talsohlen und Kämmen nicht mehr, sondern die Schneiden und Talsohlen bleiben durch einen annähernd gleichen Höhenunterschied getrennt. Die Schneiden wachsen infolgedessen nicht in demselben Maße empor wie das ganze Land, sondern nur in dem Maße wie die Talsohlen, also in geringerem. Wenn dann schließlich die Flüsse, die durch den Fortgang der Hebung zu immer kräftigerer Erosion angeregt werden, die Hebung überwinden, so tragen sie das Land ebenso stark ab, wie es sich hebt: es wird eine obere Erhebungsgrenze erreicht, und die Gipfel und Firste bewahren eine Zeitlang ihre gleiche Höhe; es herrscht Gipfelkonstanz. Hört jetzt die Hebung auf, so schneiden sich die Wasserläufe in den Sockel ein, verbreitern die Talsohlen, stumpfen und runden die Schneiden ab und erzeugen so durch allgemeine Verflachung schließlich die Fastebene. Für den geschilderten Prozeß gibt *Penck* folgendes Schema:

	Hebung.			Höhenabnahme.			
	Mit Höhenzunahme.		M. Höhenkonstanz.				
Ebene	Riedel und Schluchten	Schneiden und Schluchten	Grenzgipfelflur[2]) und Schluchten	Schneiden und Schluchten	Gerundete Kämme, Sohlentäler	Verflachte Rücken, Flachtäler	Rumpf

Besonders bemerkenswert ist in dieser Entwicklungsreihe das mittlere Stadium, in dem sich die Schneiden längere Zeit hindurch in gleichen Höhen halten. Es fehlt in der zweiten Umbildungsreihe, die durch eine starke Hebung von kurzer Dauer gekennzeichnet ist, bei der sich keine Schneiden ausbilden, sondern die Riedel zwischen den Tälern gleich zugerundet und verflacht werden.

Ist die Hebung endlich sehr langsam, so entwickelt sich ein dritter Typus der Umbildungsreihen. Die Flüsse können bei ihr niemals rasch in die Tiefe arbeiten, sondern können nur breite Täler schaffen, zwischen denen das Land sich verflacht, ohne daß gerundete Riedel entstehen. So ist das einzige Zwischenstadium zwischen Ebene und Rumpf das der verflachten Höhen und Flachtäler.

Das Schema der zweiten Reihe ist:

	Hebung.	Höhenabnahme.		
	Höhenzunahme.			
Ebene	Riedel und Schluchten	Gerundete Riedel, Sohlentäler	Verflachte Rücken, Flachtäler	Rumpf

Das der dritten:

	Hebung und bald folgende Konstanz der Höhen.	Höhenabnahme.	
Ebene		Verflachte Höhen, Flachtäler	Rumpf

Penck hat die neugewonnene Erkenntnis zunächst auf die Alpen angewandt. Ihre Gipfel zeigen in größeren Abschnitten des Gebirges annähernd gleiche Höhe, eine Erscheinung, die u. a. auch so gedeutet worden ist, daß die „Gipfelflur" von einer gehobenen alten Fastebene ererbt sei. Sie erklärt sich nun als mittleres Stadium einer der ersten Umbildungsreihe entsprechenden Entwicklung. Doch sprechen die kleinen, schwach geneigten Flächenstücke, die in den höheren Gebirgsteilen auftreten, dafür, daß die Alpen zuerst langsam gehoben wurden und erst nachher eine rasche, intensive Hebung eintrat. So bildeten sich

[1]) *Albr. Penck*, Die Gipfelflur der Alpen, Sitzungsber. preuß. Akad. d. Wiss., Berlin 1919, *XVII*, S. 256 bis 268.

[2]) D. h. der oberen Erhebungsgrenze entsprechende gleiche Höhe der Gipfel und Firste, durch welch letztere man sich eine leicht gewellte Ebene (Flur) gelegt denken kann.

zuerst gerundete Formen aus und später die scharfen, ein Fall, den die alte Davissche Theorie gar nicht berücksichtigte. Zweifellos werden die durch *Penck* gewonnenen neuen Gesichtspunkte sehr befruchtend auf die wissenschaftliche Betrachtung der Oberflächenformen der Erde wirken. *Otto Wilckens.*

Das isostatische Gleichgewicht der Erdkruste. Schon 1869 hatte *J. H. Pratt* auf Grund von Schweremessungen in Indien den Satz aufgestellt, daß sich die Kontinente und Gebirge durch geringere, die Ozeanböden durch größere Dichte auszeichnen, so daß zwischen beiden eine Art Gleichgewicht bestehe, die er als Isostasie bezeichnete.

Diese Prattsche Hypothese ist inzwischen durch zahlreiche Schweremessungen in vielen Ländern und auf den Ozeanen im allgemeinen als richtig bestätigt worden, doch hat sich herausgestellt, daß im einzelnen zahlreiche Ausnahmen vorkommen, die demnach als Unvollkommenheiten des Gleichgewichtszustandes aufzufassen sind. Solche Unvollkommenheiten sind teils lokaler, teils aber regionaler Natur, und das Studium der letzteren ist natürlich besonders geeignet, unsere Kenntnis von dem Bau der Erdkruste zu erweitern. In den letzten Jahren seines Lebens hat sich *F. R. Helmert* eingehend mit diesen Problemen beschäftigt und gezeigt, daß man die Tiefe der sogenannten Ausgleichsfläche, in welcher die Dichteunterschiede verschwinden, aus den Störungen der Schwerkraftbeschleunigung an den Steilküsten der Ozeane berechnen könne[1]). Er hat dann die Tiefe der Ausgleichsfläche zu 118 ± 22 km berechnet und gezeigt, daß die Schwerestörung vom Innern des Kontinents her mit Beschleunigung zunimmt bis zur Küste, wo ein Maximum eintritt und die Kurve eine Brechung erfährt. Bei Entfernung von der Küste auf das Meer hinaus sinkt die Kurve ziemlich geradlinig und strebt einem negativen Maximum zu, das beim Übergang der untermeerischen Kontinentalabdachung zur eigentlichen Tiefsee erreicht wird, worauf die Kurve in rascher Wendung wieder zu steigen beginnt, so daß die negativen Werte der Schwerestörung sich mehr und mehr verkleinern[2]).

Die Schwerestörungen erklären sich zum Teil durch die der orographischen Gestaltung entsprechenden Höhenstörungen der Massenlagerung, zum Teil sind Unvollkommenheiten im Gleichgewichtszustande anzunehmen, und es erschien daher wünschenswert zu untersuchen, ob generell an den Küsten eine Massenlagerung vorhanden ist, die mit der Prattschen Hypothese einer gleichmäßigen Verteilung der Kompensationsmassen nach der Tiefe in Einklang steht. Es wurde daher im Geodätischen Institut zu Potsdam eine isostatische Reduktion der Schweremessungen an sämtlichen Küstenstationen in Angriff genommen, eine Arbeit, die jedoch infolge des Krieges sowie aus anderen Gründen noch nicht fertiggestellt werden konnte. Da es fraglich ist, ob und wann die Untersuchung zu Ende geführt werden kann, so ist es mit Dank zu begrüßen, daß *O. Meißner* jetzt wenigstens die bisher erzielten Ergebnisse der Öffentlichkeit unterbreitet[1]). Das bearbeitete Material umfaßt 19 Stationen der afrikanischen Küste, 1 im Mittelländischen Meer, 3 an der südamerikanischen Ostküste, 1 an der nordamerikanischen Westküste, 2 in Japan, 2 in Indien, 4 im Stillen Ozean, 2 im Südpolargebiet.

Trotz aller Unsicherheiten infolge der großen Mangel- und Lückenhaftigkeit des zugrunde liegenden Materials und trotz der geringen Anzahl von Stationen, die zur Verfügung standen, darf das folgende Ergebnis als in den Hauptzügen gesichert angesehen werden:

Beim „atlantischen Küstentypus" herrscht im allgemeinen Isostasie. Die Ausgleichsfläche liegt aber nicht überall gleich tief, ihre Änderung von Ort zu Ort erfolgt jedoch langsam und systematisch. Örtliche Ausnahmen kommen natürlich vor.

Beim „pazifischen", durch schroffe Höhenunterschiede zwischen Land und Meer charakterisierten Küstentypus ist keine isostatische Ausgleichung vorhanden. Daß aber eine solche angestrebt wird, zeigen die regelmäßig mit diesem Küstentypus verknüpften vulkanischen und seismischen Erscheinungen. Hieran ändert auch die Tatsache nichts, daß die Vulkane oft relativ weit ab von der zugehörigen Küste liegen. Denn die Isostasie ist nur für Schollen von wenigstens 100 km Längenausdehnung vorhanden. Kleinere Mängel der Kompensation läßt die Erdkruste vermöge ihrer Festigkeit als solche bestehen; ein Beispiel dafür bildet, wie schon seit langem bekannt, der Harz.

Daß die Ergebnisse der Erdbebenforschung sich mit der Lehre von der Isostasie in Übereinstimmung befinden, zeigen die Messungen von *O. Hecker* bei jener östlich der Tonga-Inseln gelegenen, langgestreckten Meerestiefe von mehr als 8000 m, die man auf einen grabenförmigen Einbruch des Meeresbodens zurückführt. Für die durch den Einbruch verdrängten Massen ist noch kein Ersatz geschaffen, und Seebeben, die hier ihren Ausgang haben, deuten darauf hin, daß die tektonischen Verschiebungen der Erdkruste in der Tiefe des Tongagrabens noch nicht zum Abschluß gelangt sind. *O. Baschin.*

Die technischen Cumaronharze. Die Bedeutung des Cumaronharzes für die Industrie wird in einem größeren Artikel von Prof. *Marcusson* gewürdigt. Das Verdienst der Entdeckung des Cumaronharzes gebührt *Krämer* und *Spilker*, die es aus Cumaron, dem bei 173—174 ° C siedenden Bestandteil der Solventnaphtha, durch Behandlung mit konz. Schwefelsäure darstellten. Der Kriegsausschuß für Öle und Fette unterscheidet 30 verschiedene Marken und 4 verschiedene cumaronharzhaltige Rückstände, und zwar springharte, harte, mittelharte, weiche, zähflüssige und flüssige Harze. Die einzelnen Konsistenzstufen werden weiterhin als hell, hellbraun, braun, dunkel und schwarz unterschieden. Die im Handel vorkommenden Sorten des Cumaronharzes lösen sich leicht in Benzol und seinen Homologen, Schwerbenzol und Solventnaphtha auf, ebenso sind Aceton, Trichloräthylen, Tetrachlorkohlenstoff, Chloroform und Terpentinöl gute Lösungsmittel. Die Hauptverwendung des Cumaronharzes erfolgt in der

---

[1]) Unvollkommenheiten im Gleichgewichtszustande der Erdkruste. Von *F. R. Helmert.* Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physik.-math. Klasse, Berlin, 1908, S. 1058—1068.

[2]) Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattschen Hypothese für das Gleichgewicht der Erdkruste und der Verlauf der Schwerestörung vom Innern der Kontinente und Ozeane nach den Küsten. Von *F. R. Helmert.* Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physik.-mathem. Klasse, Berlin, 1909, S. 1192—1198.

[1]) Isostatische Reduktion von 34 Stationen, ausgeführt im Geodätischen Institut, von † *E. Hübner* und *O. Meißner*, bearbeitet von *O. Meißner*. Astronomische Nachrichten, Kiel, 1918, Bd. *207*, Nr. 4967, Spalte 273—282.

Industrie der Lacke und Anstrichmittel; dabei kommt es darauf an, daß die zu erzielenden Anstriche klebfrei eintrocknen. Von den beiden Hauptbestandteilen des Cumaronharzes, dem Paracumaron und Parainden, vermag nur das letztere Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen. Das Ergebnis des Anstriches und der Trocknung ist von der Art des Cumaronharzes, seiner Härte und seinem Ölgehalt abhängig. Als Nachteil der Cumaronharzanstriche gilt ihre verhältnismäßig geringe Elastizität und Wetterbeständigkeit sowie der Umstand, daß selbst bei völligem Trocknen die Farbschicht durch einen zweiten Anstrich wieder aufgeweicht wird. Nächst der Industrie der Lacke und Anstrichmittel verbraucht die Druckfarbenindustrie erhebliche Mengen Cumaronharz. Das dritte Gebiet des Cumaronharzes ist die Papierindustrie. Es wäre wertvoll, wenn sich das Cumaronharz verseifen ließe, um es dann in gleicher Weise wie Colophonium für die Papierindustrie zu verwenden. Die gewünschte Verseifung hat sich selbst bei tiefeingreifender chemischer Einwirkung nicht erzielen lassen. In der Papierindustrie erfolgt die Verwendung des Cumaronharzes in der Weise, daß man es durch tierischen Leim oder etwas Harzseife in eine Emulsion überführt und diese zur Leimung des Papieres verwendet. Für die analytische Beurteilung des Cumaronharzes kommen zwei verschiedene Gesichtspunkte in Betracht: 1. Die Feststellung seiner Unverfälschtheit, 2. ob es frei von schädlichen Bestandteilen, zum Beispiel Schwefelsäure und deren Verbindungen, ist. Besonders ist bei solchen Untersuchungen darauf zu achten, daß dem dunkeln Cumaronharz pechartige Destillationsrückstände beigegeben werden. Als einfachste Vorprobe, ob dies der Fall ist, gilt die Löslichkeit der Probe in Aceton; darin lösen sich alle Cumaronharze, aber nicht die Peche. Cumaronharz dreht nicht die Polarisationsebene, während dies bei natürlichen Harzen der Fall ist. Letztere schmelzen höher als Cumaronharz, haben höhere Säure-, Verseifungs- und Jodzahlen. Ist die Unverfälschtheit des Cumaronharzes erwiesen, so ist noch festzustellen, welche Marke vorliegt. Hierzu dienen die Vorschriften des Kriegsausschusses über die Bestimmung des Erweichungspunktes, der Zähigkeit und der Farbe. Neben der Konsistenz des Cumaronharzes ist auch die Farbe für die Bewertung von Bedeutung. Vielfach wird darüber Klage geführt, daß die geringwertigen Cumaronharzsorten bei Verwendung zu Metallanstrichen nicht nur nicht rostschützend, sondern im Gegenteil rostfördernd wirken. Als eine unangenehm empfundene Tatsache wird von der Industrie die Mannigfaltigkeit der Cumaronharzmarken bezeichnet. Es wurde daher vom Prof. *M.* versucht, die Frage zu klären, worauf das Vorkommen so zahlreicher Marken zurückzuführen ist. Zur Beantwortung dieser Frage hat er eingehende Untersuchungen der verschiedenen Marken vorgenommen, wobei er geeignete Untersuchungsverfahren zuerst ausbilden mußte. Als Ergebnis derselben sind erkannt worden: In Aceton schwerlösliche Säureharze, in Aceton lösliche Harze, die teils im Alkohol schwer, teils leichter löslich sind, endlich gegen Schwefelsäure beständige und unbeständige Öle sowie Mineralstoffe, hauptsächlich Natriumsulfat. Nach der von Prof. *M.* durchgeführten Ermittlung der Zusammensetzung der Cumaronharze läßt sich ermessen, auf welchem Wege eine Verbesserung des Materials und eine Beschränkung der zahlreichen Cumaronharzmarken erreicht werden kann. Vor allem müßte versucht werden, die bei der Einwirkung von Schwefelsäure auf das Teerdestillat entstehenden Säureharze möglichst vollständig zu entfernen, da sie den Wert des Cumaronharzes stark beeinflussen. Wichtig ist auch, daß ein Übergang von öligen Stoffen in das Cumaronharz vermieden wird, indem man nur die zwischen 160 und 180 ° C siedende, Cumaron und Inden enthaltende Solventnaphthafraktion auf Cumaronharz verarbeitet und die mit Schwefelsäure nicht in Reaktion tretenden Anteile durch Behandeln mit Wasserdampf abtreibt. Auf diese Weise würden die minderwertigen flüssigen Marken, welche viel Öl aber wenig Cumaronharz enthalten, verschwinden. Ein erheblicher Mangel der Cumaronharze liegt darin, daß der Schmelzpunkt selbst der besten Marken nicht über 65 ° C hinausgeht. Es hat nicht an Versuchen zur Erhöhung des Schmelzpunktes gefehlt. Man kann helle Cumaronharze vom Schmelzpunkt 160 ° C gewinnen, wenn die Polymerisation des im Harze enthaltenen Cumarons und Indens nicht wie gegenwärtig mittels Schwefelsäure, sondern durch Metallsalze vorgenommen wird. Gelingt dieses Verfahren der Industrie, so wird die Verwendung des Cumaronharzes in der Lackindustrie gesichert sein, was vom volkswirtschaftlichen Standpunkte sehr erwünscht wäre, da Cumaronharz aus einheimischen Rohstoffen in großen Mengen erzeugt werden kann. (Chemiker-Zeitung 1919, 43. Jahrg., Nr. 23/24, 28, 31.) *E. Weinwurm.*

Fortschritte in der Chemie der natürlichen Harze. Durch die Kriegsverhältnisse bedingt, hat die Gewinnung künstlicher oder synthetischer Harze eine schnelle Entwicklung durchgemacht. Die erhaltenen Produkte sind, soviel man weiß, den natürlichen Harzen nur in den physikalischen Eigenschaften ähnlich. Hinsichtlich der chemischen Konstitution fehlt allerdings die Möglichkeit eines sicheren Vergleichs, da die natürlichen Harze noch sehr unvollkommen in dieser Richtung erforscht sind. Immerhin sind doch, trotz der Ungunst der Zeit, auch auf diesem Gebiete, einem der schwierigsten der Pflanzenchemie, eine Reihe nennenswerter Fortschritte in den letzten Jahren erzielt worden. Vor allem sei die Aufklärung der Konstitution der Guajacharzsäure durch *G. Schröder, Lichtenstadt* und *Ireneu* (Berichte d. Deutsch. chem. Ges. *51*, 1587, 1918) genannt. Sie ist ein echtes Benzolderivat, keine Carbonsäure, weshalb die Bezeichnung Guajacresinol vorzuziehen ist. Beim pyrogenen Abbau geht es leicht in Naphthalinderivate über. Damit ist die erste natürliche Harzsubstanz in ihrem Chemismus erkannt worden. Während eine Anzahl der von *Tschirch* als Resinole bezeichneten Harzsubstanzen tatsächlich aromatische Phenole gleich dem Guajacresinol sein dürften, erwiesen sich die Resinole der Siam- und der Sumatrabenzoe als Harzsäuren (Carbonsäuren). Sie werden daher nicht mehr Sia- bzw. Sumaresinol, sondern Siaresinolsäure und Sumaresinolsäure genannt (*Zinke* und *Lieb*, Monatsh. f. Chem. *39*, 95, 219, 627; 1918). Über die Konstitution der technisch wichtigsten Harzsäure, der Abietinsäure und ihrer nächsten Verwandten liegen keine namhaften Fortschritte vor. *M. Henze* (1916) glaubte Abietinsäure und Pimarsäure im Styrax nachgewiesen zu haben und zog daraus weitere physiologische Schlüsse. Nach *Tschirch* (Schweiz. Apoth.-Zeitung 1919) handelte es sich offenbar um ein durch Coniferenterpentin verfälschtes Handelsprodukt. *Tschirch* hat auf Grund der Untersuchungen von *Reinitzer* (Arch. d. Pharm, 1914) seine Anschauungen über die Entstehung der Harze modifiziert. Er sieht in den Resinotannolen nicht mehr Vorstufen, sondern Endprodukte in der Entwicklungs-

geschichte der Harze. Als Muttersubstanzen der Harze treten nunmehr an Stelle der Gerbstoffe die Pflanzensterine in den Vordergrund. „Bei tiefgehender Verletzung reagiert die Pflanze durch Phytosterinhyperbolie. Die Protoretine sind — um einen trivialen Vergleich zu wählen — Gallensteine." Durch die Reaktionen, aber auch durch konstitutive Merkmale zeigen die Resinole und Resinolsäuren einige früher weniger klare Beziehungen zu andern Pflanzenstoffen. Außer zu den Sterinen, besonders auch zu den Terpenen und manchen Saponinen. Diese letzteren (Sesquiterpene und Saponine) haben sich zum Teil als Naphthalinderivate erwiesen (s. oben Guajacresinol). Nicht ohne Interesse ist auch die neue Feststellung von *Kobert*, daß einige, den Harzen fernerstehende, aber auch harzähnliche Substanzen, so die Agaricinsäure des Lärchenschwamms, sowie Convolvulin und Jalapin hämolytische Eigenschaften besitzen und damit ebenfalls saponinähnliche Merkmale aufweisen. Den Terpenen stehen die eigentlichen Harzsäuren der Gruppe der Resinolsäuren und der Abietinsäure, auch durch die Gegenwart der charakteristischen Propyl-(Isopropy-) Gruppe nahe.

Beitrag zur Kenntnis von organischen Nahrungsstoffen mit spezifischer Wirkung. Unter diesem Titel veröffentlichen *Abderhalden* und der bekannte Beri-Beri-Forscher *Schaumann* in Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. *172*, S. 1—274, 1918, eine für die Vitaminfrage in manchen Punkten abklärende Untersuchung. Die Polyneuritis wird als alimentäre Dystrophie bezeichnet, beziehungsweise als alimentäre Neurodystrophie, da es sich nicht um einen entzündlichen Prozeß handelt, sondern um ohne Entzündung sich abspielende Veränderungen des Nervengewebes. Daneben findet man häufig einen weitgehenden Muskelschwund. Die Insuffizienzerscheinungen werden analysiert, den Ursachen der einzelnen Erscheinungen nachgegangen. Es werden die Beobachtungen an verschiedenen Tierarten bei Verwendung verschiedener Nahrungsmittel verglichen, die Beeinflusung der Zubereitung derselben besprochen. *Abderhalden* erhebt die Forderung, daß die Nahrungsmitteluntersuchungsinstitute in Zukunft durchgängig auf Tierversuche eingerichtet werden sollten. Bei der alimentären Dystrophie sind am wirksamsten Hefe, dann Reiskleie; es folgen dann die Kleie von Gerste, Roggen, Hafer, Weizen, ferner Phaseolus radiatus, Erbsen und Linsen. Die Hefenukleinsäure versagt bei wiederholter Anwendung. Keiner der bisher dargestellten Extrakte kann es an Wirksamkeit mit den Muttersubstanzen, aus denen er gewonnen wurde, aufnehmen. Die als „Vitamine" bezeichneten, mehr oder weniger rein erhaltenen Substanzen vermögen zwar in oft überraschender Weise nervöse Störungen zu beseitigen, können aber allein mit insuffizienter Nahrung gefütterte Tiere nicht dauernd am Leben erhalten. Der Tod tritt meist erheblich später ein, als ohne diese Zusätze, zuweilen aber selbst unter nervösen Störungen. Wiederholt wird darauf hingewiesen, daß die nervösen Störungen nur Teilsymptome sind, die deshalb hauptsächlich studiert wurden, weil sie am meisten auffallen und weil an ihnen die Wirkungen bestimmter Stoffe am leichtesten zu verfolgen sind. Für diese, die nervösen Symptome beseitigenden, organischen Basen wird der Name Eutonine, nervenstärkende Stoffe, vorgeschlagen. Für die Gesamtheit der Stoffe, die neben den Hauptgruppen der Nährstoffe für die Vollwertigkeit der Nahrung nötig sind, wird der Namen Nutramine gebraucht. Besonders wirksame Eutoninpräparate sind Acetonniederschläge von alkoholischen Extrakten hydrolysierter Hefe und Reiskleie. Unwirksam war mit verdünnter, heißer Lauge behandelte Hefe. Mit Eutonin zusammen konnte aber so behandelte Hefe geschliffenen Reis suffizient machen, während Eutonin allein dies nicht vermag. Es wird schließlich in systematischer Weise der Frage nach den Muttersubstanzen der Eutonine nachgegangen. Zusammenfassend wird gesagt, daß hauptsächlich, wenn nicht ausschließlich, organische Phosphorverbindungen, Phosphatide, Nukleoproteide, Nukleine in Betracht kommen. Die Frage, ob auch in andern nicht phosphorhaltigen Substanzen, wie Proteinen, Kohlenhydraten, Fetten, Eutonine als integrierende Bestandteile ihrer Moleküle vorkommen, wird vorläufig offen gelassen. Entgegen den Ansichten *Röhmanns* kann festgestellt werden, daß die Aminosäuren aus Eiweißkörpern nicht an der Eutoninwirkung beteiligt sind.

Die natürliche und erzwungene Glycerinbildung bei der alkoholischen Gärung. Über das Technische des in der Kriegszeit für die Gewinnung von Nitroglycerin so wichtig gewordenen Verfahrens der Vergärung von Zucker durch Hefen in Gegenwart von Sulfit ist die Öffentlichkeit jetzt durch die Publikation von *Connstein* und *Lüdecke* (Naturwissenschaften 1919, Nr. 23) zur Genüge orientiert. In dieser Zeitschrift ist auch über die Arbeiten von *M. Oppenheimer* (Naturwissenschaften 1915, S. 422) referiert worden, der die Glycerinausbeute bei Verwendung von Hefemacerationssaft bis auf 12 % treiben konnte. Ferner ist hier der Arbeiten von *Neuberg* gedacht worden (Naturwissenschaften 1918, S. 626), in welchen die allgemeine Rolle der Aldehyde bei der Gärung sowie die Bildung des Acetaldehyds erkannt bzw. sichergestellt wurde. In einer neuen Arbeit unter obigem Titel von *Neuberg* und *Elsa Reinfurth* (Biochem. Zeitschr. *92*, 234, 1918) werden die Bedingungen der Glycerinbildung unter dem Einfluß des Sulfits im wesentlichen aufgeklärt. Schon *Neuberg* und *Kerb* (1913) hatten die Anschauung vertreten, daß jedem Molekül gebildeten Acetaldehyds ein Molekül Glycerin entsprechen dürfte. Dies bestätigte sich nun tatsächlich, so daß man die leichter ausführbare Aldehydbestimmung für jene des Glycerins setzen kann. Beim Zerfall des Zuckers in je ein Molekül Aldehyd, Glycerin und Kohlensäure könnten theoretisch 51,1 % Glycerin vom Gewichte des Zuckers entstehen. Es wurden bis 35 % Glycerin erhalten, also 70 % entsprechend der Theorie. Die maximalen Ausbeuten an Glycerin und Aldehyd sind etwa die gleichen, die *Connstein* und *Lüdecke* erhielten. Die Entstehung von Acetaldehyd und Glycerin sind korrelative Vorgänge. Ihre Verknüpfung besteht darin, daß die Fesselung der Aldehydstufe die Glycerinentwicklung bedingt. Für die Fixierung der Aldehydstufe sind sekundäre Sulfite besonders geeignet, da sie den Gärungsprozeß nicht unterbinden, dagegen bis zu einem bestimmten Gleichgewicht den intermediär gebildeten Aldehyd festlegen, dadurch eine dieser Oxydationsleistung entsprechende Reduktion erzwingen, das ist die Bildung von Glycerin. *G. Trier.*

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.